www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

11e JAARGANG No. 9, blz. 257-284 SEPTEMBER 1949

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: LABORATORIUM VOOR WETENSCHAPPELIJK ONDERZOEK DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN CONSERVERINGSGELIJKRICHTER MET ELECTRONISCH CONSTANT GEHOUDEN LAADSPANNING

door E. CASSEE.

621.314.6.076.7:621.316.261

Op bijna elk gebied van de techniek treft men tegenwoordig installaties aan waarin gebruik is gemaakt van „electronische besturing". In het onderstaande artikel wordt uiteengezet hoe met zulk een besturing aan een gelijkrichter een karakteristiek kan worden gegeven die zeer gunstig is voor het in „conserveringslading" houden van een accu-batterij.

Conserveringslading

Het electriciteitsnet heeft zich in de loop der jaren ontwikkeld tot een energiebron van een betrouwbaarheid die, ondanks de nog wel eens voorkomende storingen, voor industriële en huishoudelijke doeleinden bevredigend mag worden genoemd. Niettemin zijn er een aantal gevallen waarin zelfs een zeer korte onderbreking van de stroomvoorziening ongewenste, ja noodlottige gevolgen kan hebben: men denke slechts aan het telefoon-, telegraaf- en telexverkeer en aan de verlichting van schouwburgen, verkeerstunnels, operatiezalen, enz. In zulke gevallen beschikt men dan ook steeds over een nood-voedingsinstallatie, die bijv. kan bestaan uit een batterij van accumulatoren.

In een vorig artikel in dit tijdschrift [1]) is uitvoerig ingegaan op hetgeen daar de „hygiëne" van de batterij werd genoemd, dwz. de beste behandelingswijze. Betoogd werd dat het systeem met één, in zg. conserveringslading gehouden, batterij grote voordelen heeft, vergeleken met het vroeger voor telefoon- en soortgelijke bedrijven algemeen toegepaste systeem met twee batterijen, die beurtelings geheel worden geladen en ontladen. Tot deze voordelen mag in de eerste plaats worden gerekend een veel langere levensduur van de batterij, en verder de besparingen in aanschaffing, plaatsruimte en onderhoud die voortvloeien uit het feit dat men slechts één batterij nodig heeft in plaats van twee. Andere voordelen zijn nog: het hogere rendement van conserveringslading, en de afwezigheid van de ontwikkeling van gassen en bijtende dampen.

De conserveringslading bestaat hierin dat de batterij vol geladen wordt gehouden door haar voortdurend een geringe laadstroom toe te voeren, juist voldoende om de inwendige verliezen te dekken. De batterij is dus permanent parallelgeschakeld met de laadbron (en, in het geval van bijv. een telefooncentrale, tevens met het gelijkstroom verbruikende „bedrijf"). Deze laadbron, die bijv. een uit het wisselstroomnet gevoede gelijkrichter kan zijn, moet voldoen aan enige bijzondere eisen. Ze moet aan de batterij voortdurend een geringe laadstroom toevoeren die juist voldoende is om de inwendige verliezen van de batterij te dekken. Men bereikt dit door aan de batterij een spanning van 2,1 tot 2,2 V per cel te onderhouden [2]). In het zoëven genoemde geval van de telefooncentrale moet de laadbron bovendien de stroom kunnen leveren die door het bedrijf wordt gevraagd (deze stroom wordt dus in het algemeen niet door de batterij geleverd, behalve in een bijzonder geval, waarop we nog terugkomen, en natuurlijk tijdens een storing in het wisselstroomnet).

Op welke wijze een gelijkrichter met de genoemde eigenschappen — „conserveringsgelijkrichter" — kan zijn ingericht, kwam in dit tijdschrift reeds

[1]) H. A. W. Klinkhamer, Nood-voedingssystemen met accu-batterijen, Philips techn. T. **9**, 231-238, 1947.

[2]) Wij spreken hier van loodaccumulatoren. Voor nikkel-ijzercellen zijn onze beschouwingen — mutatis mutandis — in grove trekken ook geldig.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ter sprake in het in noot [1]) aangehaalde artikel, en ook in een stuk van oudere datum [3]). In het eenvoudigste geval is het principeschema dat van *fig. 1*. Een stel ventielen, bijv. geschakeld volgens Graetz, wordt gevoed uit de in serie verbonden secundaire wikkelingen van twee transformatoren, waarvan de ene (T_2) rechtstreeks, en de andere (T_1) over een condensator op het wisselstroomnet is aangesloten. Essentieel is dat de ijzeren kern van de laatstgenoemde transformator sterk in de verzadiging loopt. Voor de werking zij verwezen naar de aangehaalde artikelen [1]), [3]). Van een bepaalde uitvoeringsvorm werd vermeld (zie [3])), dat in een groot gebied van de door de gelijkrichter geleverde stroomsterkten (0,3 tot 3 A) de laadspanning (d.i. de batterijspanning) slechts enkele % verandert (van 63 tot 60 V). Bovendien is de laadspanning slechts weinig afhankelijk van de netspanning: 10% verandering in de netspanning doet de laadspanning hoogstens ca 3% veranderen.

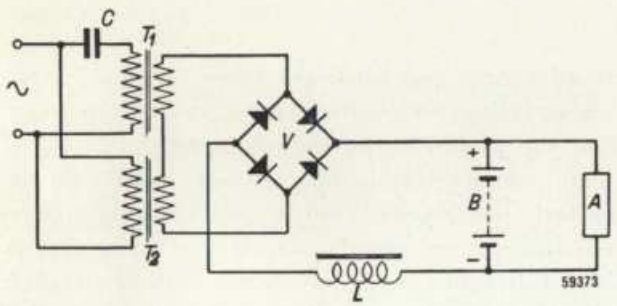


Fig. 1. Schakeling van een vroeger beschreven conserveringsgelijkrichter (zie noot [1]) en [3])). T_1 = transformator met sterk verzadigde kern, T_2 = gewone transformator, C = condensator in serie met de primaire spoel van T_1, V = Graetz-schakeling van ventielen, L = afvlaksmoorspoel, B = batterij, A = bedrijf.

In drie opzichten echter hebben de gelijkrichters volgens dit systeem minder gunstige eigenschappen. In de eerste plaats doelen we op het feit — waarvan reeds melding werd gemaakt in het aangehaalde artikel [3]) — dat de laadspanning in vrij sterke mate afhangt van de frequentie van het wisselstroomnet: met 1% afwijking van de nominale frequentie correspondeert ca 1,6 % verandering van de laadspanning. Nu is het sedert de oorlog met de netten in West- en Midden-Europa — andere streken mogen buiten beschouwing blijven — zo dat vaak gedurende ettelijke uren per dag frequentie-afwijkingen tot ca 4% voorkomen. De laadspanningsvariaties die hiervan het gevolg zijn, gevoegd bij die welke zijn te wijten aan netspanningsfluctuaties en aan schommelingen in het gelijkstroomverbruik, kunnen groter worden dan voor een goede conservering van de batterij toelaatbaar moet worden geacht.

Het tweede bezwaar bestaat hierin dat de laadspanning afhankelijk is van het spanningsverlies in de ventielen, dat in de loop van de tijd niet constant is. Seleniumventielen bijv. hebben de eigenschap dat het er in optredende spanningsverlies toeneemt met de doorgelaten stroom, terwijl het bovendien, bij een gegeven stroomsterkte, geleidelijk wat groter wordt, vooral gedurende de eerste tijd na het in gebruik nemen. Weliswaar kan men, door aan te sluiten op een andere aftakking van de transformator, wijzigingen in het spanningsverlies dat bij een gegeven stroomsterkte optreedt, compenseren, doch een fraaie oplossing is dit niet. In gelijkrichtbuizen met gasvulling is het spanningsverlies (boogspanning) slechts weinig afhankelijk van de stroomsterkte, maar het vertoont soms onregelmatige fluctuaties, die helemaal niet gecompenseerd kunnen worden.

Het derde bezwaar van gelijkrichters volgens de schakeling van fig. 1 is niet van principiële, doch meer van fabricage-technische aard. De vorm van de karakteristiek die bij deze gelijkrichters de laadspanning als functie van de gelijkstroom weergeeft, is in hoge mate afhankelijk van het verloop van de B-H-kromme van het ijzer in de transformator T_1, in het bijzonder van het verloop bij sterke verzadiging. Nu is juist omtrent dit gebied in de algemeen geldende keuringseisen van transformatorplaat niets vastgelegd, en verschillende partijen blijken een grote spreiding te vertonen, hetgeen uiteraard moeilijkheden in de fabricage veroorzaakt.

De toenemende vraag naar conserveringsgelijkrichters maakte het gewenst, om te zien naar een systeem dat de genoemde nadelen niet bezit.

Conserveringsgelijkrichter met electronische besturing

Constant houden van de laadspanning

De oplossing is gevonden in een systeem waarbij de batterijspanning zelf regelend ingrijpt, en wel doordat zij de gelijkstroombekrachtiging van een zg. transductor bestuurt. Dit is een smoorspoel waarvan de impedantie voor wisselstroom kan worden gevarieerd door middel van een hulpgelijkstroom (bekrachtigingsstroom), die door een afzonderlijke wikkeling op de spoelkern vloeit. Met een transductor is men in staat, een klein gelijkstroomvermogen een veel groter wisselstroomvermogen — of, indien de wisselstroom wordt gelijkgericht, een veel groter gelijkstroomvermogen — te laten besturen.

[3]) H. A. W. Klinkhamer, Een gelijkrichter voor kleine telefooncentrales, Philips techn. T. **6**, 39-45, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De schakeling is aangegeven in *fig. 2*, waarin *Td* de transductor voorstelt. Neemt de door de gelijkrichter geleverde gelijkstroom I_0 bijv. toe, dan heeft de laadspanning de neiging te dalen. Door

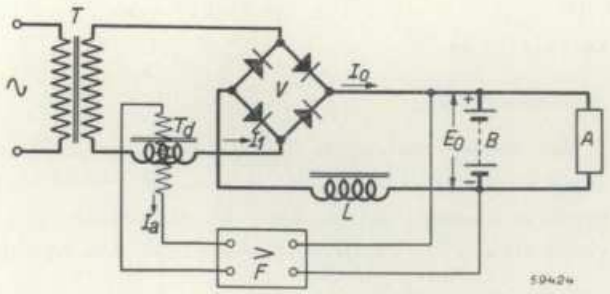


Fig. 2. Schakeling van een conserveringsgelijkrichter met een transductor (*Td*), waarvan de bekrachtiging I_a, door tussenkomst van een versterker *F*, wordt geregeld door de laadspanning E_0. *T* = voedingstransformator. *A*, *B*, *L* en *V* als in fig. 1.

echter de bekrachtigingsstroom I_a van de transductor op een geschikte wijze — door tussenkomst van de met *F* aangeduide schakeling — afhankelijk te maken van de laadspanning, kan men de daling van deze spanning een zodanige versterking van de bekrachtiging doen bewerkstelligen dat de impedantie van de wisselstroomspoel — en daarmee het spanningsverlies dat in deze spoel optreedt — zoveel afneemt dat de daling van de laadspanning nagenoeg wordt gecompenseerd.

De bekrachtigingsstroom kan voor ons doel niet rechtstreeks van de batterij worden betrokken, ten eerste omdat de toelaatbare fluctuaties in de bat-

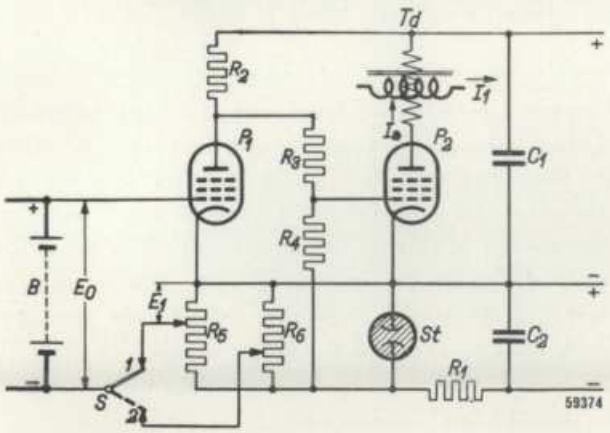


Fig. 3. Schakeling van een gedeelte van de versterker *F* (fig. 2). De stuurroosterspanning van de penthode P_1 (EF 41) is het verschil van de batterijspanning E_0 en een constante, met de potentiometer R_5 instelbare, vergelijkingsspanning E_1. R_1 = stroombegrenzingsweerstand van de stabiliseerbuis *St* (85 A1), die E_1 constant houdt. R_2, R_3 en R_4 zijn weerstanden voor de koppeling van P_1 met de eindbuis P_2 (EL 60), waarvan de anodestroom I_a de transductor *Td* (fig. 2) bekrachtigt. C_1, C_2 = afvlakcondensatoren van twee kleine, niet getekende hulpgelijkrichters. Met de schakelaar *S* kan men overgaan op een grotere vergelijkingsspanning (snelladen), instelbaar met een potentiometer R_6.

terijspanning zo klein zijn dat zij in de transductor zeer weinig effect zouden sorteren, en ten tweede omdat dit effect juist in de verkeerde richting zou optreden: bij bijv. toenemende batterijspanning zou de bekrachtigingsstroom eveneens toenemen, wat, naar we zoëven hebben beredeneerd, een verdere toeneming van de batterijspanning tot gevolg zou hebben. Vandaar dat de batterijspanningsfluctuaties, alvorens ze de transductor besturen, moeten worden versterkt (in *F*, fig. 2), waarbij tevens de noodzakelijke omkeer van teken wordt verkregen.

Deze versterking kan op verschillende manieren tot stand worden gebracht. Het eenvoudigste is wel versterking met electronenbuizen, bijv. op de wijze als is aangegeven in *fig. 3*. De laadspanning E_0 wordt hier vergeleken met een spanning E_1, die met een potentiometer R_5 instelbaar is en door een stabiliseerbuis *St* constant wordt gehouden. Deze buis wordt gevoed door een kleine hulpgelijkrichter. Variaties in het spanningsverschil $E_0 - E_1$ worden door de buizen P_1 en P_2 versterkt; de anodestroom van P_2 is in dit geval tevens de bekrachtigingsstroom I_a van de transductor. Men overtuigt er zich gemakkelijk van dat een verandering in de laadspanning de bekrachtigingsstroom in de juiste zin wijzigt.

Bij dit systeem wordt iedere verandering van de laadspanning tegengewerkt, onverschillig of ze is ontstaan door variatie van het spanningsverlies in de ventielen, van de netspanning of van de frequentie. In hoeverre in een practisch geval de laadspanning constant kan worden gehouden, ziet men in *fig. 4*, die de laadspanning als functie van de afgegeven gelijkstroom weergeeft, bij verschillende netspanningen. Deze karakteristieken zijn opgenomen aan een conserveringsgelijkrichter type 3067 (*fig. 5*), voor 64,5 V (30 loodcellen), max. 15 A, die volgens het systeem van fig. 3 is ingericht. Bij 4% frequentie-afwijking, of bij 10% netspanningsafwijking, verandert de laadspanning minder dan 0,5%. Niet alleen is dus de afhankelijkheid van de frequentie (waarom het was begonnen), maar tevens die van de netspanning aanmerkelijk verkleind, vergeleken met het vroegere systeem. Bij de genoemde frequentie- en netspanningsafwijkingen en bij stroomsterkten tussen 10 en 100% van de nominale waarde blijven de totale veranderingen van de laadspanning tussen +1 en −1 volt.

In het artikel [1]) werd beschreven, hoe ook met conserveringsgelijkrichters volgens het systeem van fig. 1 een zeer geringe afhankelijkheid van netspanningsschommelingen kan worden verkregen. Daarbij werd gebruik gemaakt van de merkwaardige eigenschap van deze gelijkrichters dat de laad-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning juist in tegengestelde zin varieert als de netspanning. Door zulk een gelijkrichter in serie te schakelen met een gewone gelijkrichter, waarbij de beide spanningsvariaties in dezelfde richting gaan, kan men een verregaande compensatie tot stand brengen.

Op de bochten die de karakteristieken vertonen bij kleine en bij grote stroomsterkte, komen we nog terug.

Wat betreft de kwestie van het transformatorijzer, kan worden opgemerkt dat zich bij de transductor geen moeilijkheden voordoen van de aard als bij de transformator T_1 (fig. 1). Deels is dit te danken aan de werkingswijze van de nieuwe verontreinigingen uit het glas. Voor nadere bijzonderheden zij verwezen naar een desbetreffend artikel [4]).

De potentiometer R_5 (fig. 3) veroorlooft enige regelbaarheid van de laadspanning, bijv. tussen 2,10 en 2,30 V per cel in het vlakke gebied van de karakteristiek.

Stroombegrenzing

Het scherp ombuigen van de karakteristiek bij grote stroomsterkte (fig. 4) is zeer waardevol; het betekent immers dat de door de gelijkrichter geleverde stroom I_0 wordt begrensd. Als het bedrijf

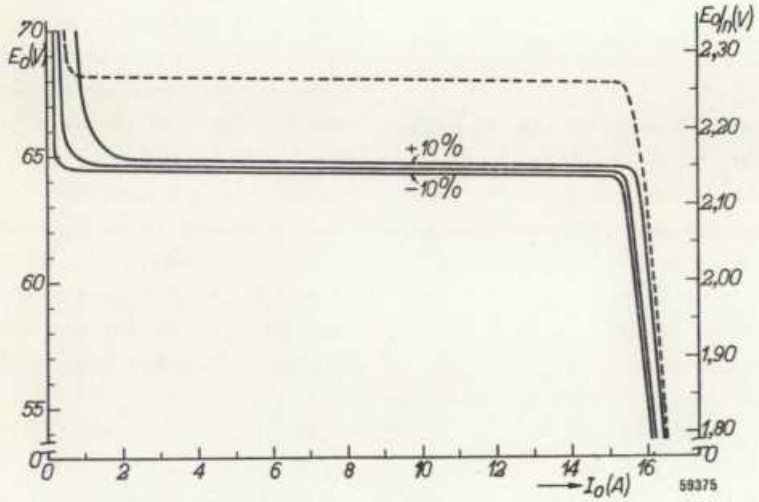


Fig. 4. Laadspanning E_0 als functie van de gelijkstroom I_0, voor de conserveringsgelijkrichter type 3067, voor 64,5 V (30 loodcellen), max. 15 A. Getrokken lijnen: conserveringslading, bij 10% te lage, normale, resp. 10% te hoge netspanning. Gestippeld: snellading. Rechts is de spanning per cel, E_0/n, uitgezet (n = aantal cellen in serie).

gelijkrichter, die streeft naar een zo klein mogelijk verschil tussen de laadspanning en de gegeven, constante vergelijkingsspanning.

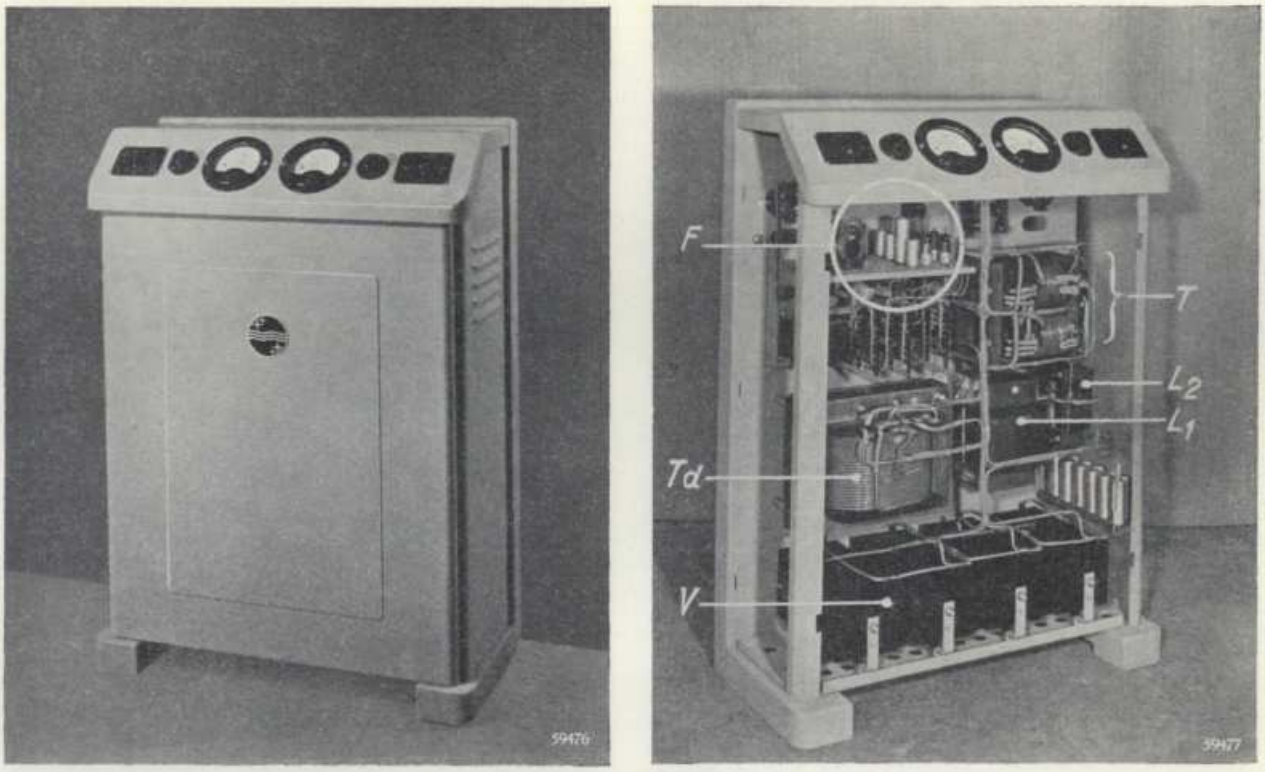
Het is niet overdreven te zeggen dat de werking van deze gelijkrichter staat of valt met de constantheid van de vergelijkingsspanning, dus met de eigenschappen van de stabiliseerbuis (*St*, fig. 3). Daarom is een buis gebruikt (type 85 A1) die zowel gedurende de levensduur als bij variërende stroomsterkte of bij temperatuurwisselingen slechts zeer geringe afwijkingen van de nominale spanning (85 V) vertoont; deze afwijkingen blijven binnen 1 V, meestal bedragen ze zelfs niet meer dan enkele tienden volt. Deze buis, die met een glimontlading in neon werkt (stroomsterkte gemiddeld 4 mA), is voorzien van een zorgvuldig geprepareerde kathode van molybdenium. Een laag van hetzelfde metaal is door verstuiving op de binnenwand van de glazen ballon aangebracht en belet het vrijkomen van van tijd tot tijd een stroomsterkte vraagt die groter is dan deze grenswaarde, wordt het verschil door de batterij bijgepast; de gelijkrichter zelf behoeft dus niet voor deze grote stromen te zijn berekend. Wij dienen echter nog duidelijk te maken, op welke wijze deze stroombegrenzing — die ook in conserveringsgelijkrichters van het oude type bestaat, doch daar op een andere manier wordt verkregen — tot stand komt, want de inrichting volgens fig. 3 is daartoe niet voldoende.

Het bedoelde effect is verkregen door, van een bepaalde stroomsterkte af, de roosterspanning van de buis P_1 (fig. 3) niet meer te doen bestaan uit $E_0 - E_1$, maar uit $E_2 - E_1$, waarin E_2 een gelijkspanning is die evenredig is met de door de gelijkrichter geleverde stroom I_0; de bedoelde overgang

[4]) T. Jurriaanse, Een spanningsstabiliseerbuis voor zeer constante spanning, Philips techn. T. 8, 273-278, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

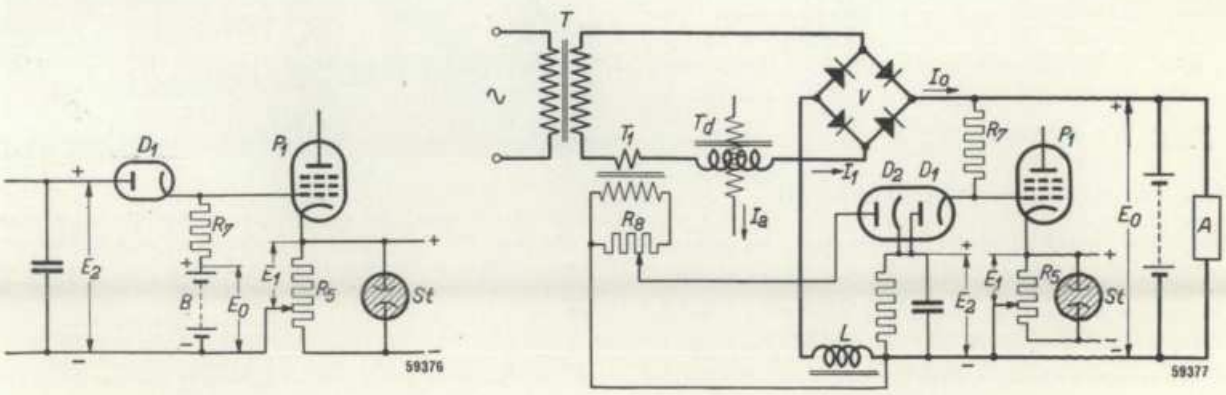


a *b*

Fig. 5. Electronisch bestuurde conserveringsgelijkrichter type 3067, voor 64,5 V, max. 15 A. *a*) gesloten, *b*) geopend. L_1, L_2 twee afvlaksmoorspoelen ; overige letters als in fig. 2.

(van $E_0 - E_1$ tot $E_2 - E_1$) komt tot stand als E_2 groter wordt dan E_0.

Fig. 6a (waarin nog in het midden is gelaten hoe de met I_0 evenredige spanning E_2 is verkregen) laat zien hoe dit in zijn werk gaat: zolang $E_2 < E_0$, laat de diode D_1 geen stroom door, en wordt, als boven beschreven, de roosterspanning van de buis P_1 gevormd door $E_0 - E_1$. Als echter $E_2 > E_0$ wordt, gaat er door de diode en de weerstand R_7 stroom vloeien en wordt de roosterspanning gelijk aan $E_2 - E_1$. Naarmate I_0 nu toeneemt, verandert deze roosterspanning dus in positieve richting,



a *b*

Fig. 6. Schakeling voor begrenzing van de stroom. *a*) Wordt de spanning E_2 groter dan E_0, dan gaat er stroom lopen door de diode D_1 en de weerstand R_7, en is de stuurroosterspanning van P_1 (fig. 3) niet langer $E_0 - E_1$, maar $E_2 - E_1$. Overige letters als in fig. 3. *b*) De spanning E_2 wordt verkregen door gelijkrichting (diode D_2) en afvlakking van de wisselspanning (instelbaar met een potentiometer R_8) van de secundaire spoel van de transformator T_1. Door de primaire spoel van T_1 loopt een wisselstroom I_1, die evenredig is met de gelijkstroom I_0. Ook E_2 is dus evenredig met I_0. De dioden D_1 en D_2 bevinden zich in één ballon (EB 41). Overige letters als in vorige figuren.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

hetgeen — naar men aan de hand van fig. 3 gemakkelijk kan nagaan — de bekrachtigingsstroom verzwakt. Daardoor neemt het spanningsverlies in de wisselstroomspoel van de transductor sterk toe, wat een snelle daling van de laadspanning tot gevolg heeft.

Rest nu nog de beschrijving van de wijze waarop de met I_0 evenredige spanning E_2 wordt verkregen. De door de gelijkrichter opgenomen wisselstroom I_1, die met I_0 evenredig is, loopt door de primaire spoel van een kleine hulptransformator (T_1, fig. 6*b*) en induceert in de secundaire wikkeling een spanning die evenredig is met I_1, dus ook met I_0. Gelijkrichting van deze spanning, met behulp van een diode D_2, en afvlakking leveren de gewenste gelijkspanning E_2. Door deze spanning instelbaar te maken, bijv. met de potentiometer R_8, kan men desgewenst de waarde waartoe I_0 wordt begrensd, regelen.

In de bocht in de karakteristiek (fig. 4) bij kleine stroomsterkte — welke bocht bij conserveringsgelijkrichters van het oude type eveneens aanwezig is — komt de gelijkrichter te werken als de batterijspanning zover oploopt (bijv. als gevolg van een langdurige afwezigheid van belasting) dat de buis P_2 afgeknepen en de bekrachtingingsstroom dus ongeveer nul wordt. De transductor gedraagt zich dan als een gewone smoorspoel (met constante, grote impedantie), de gelijkrichter als een gewone gelijkrichter. De stroomsterkte waarbij deze bocht optreedt, kan men kleiner maken door de transductor (in onbekrachtigde toestand) een grotere zelfinductie te geven, doch daardoor wordt de transductor zwaarder en kostbaarder. Bij de gebruikelijke uitvoering ligt de bocht bij een stroomsterkte die zo klein is dat gewoonlijk de zelfontlading van de batterij, vermeerderd met het bijna steeds aanwezige basisverbruik (relaisspoelen e.d.) al voldoende is om te voorkomen dat de gelijkrichter in het steile gedeelte van de karakteristiek komt te werken. Mocht dit niet het geval zijn — waardoor ongewenst „gassen" van de batterij zou kunnen optreden — dan kan men een kleine extra-basisbelasting aanbrengen, bijv. een weerstand parallel aan batterij en gelijkrichter, of een weerstand dan wel een smoorspoel parallel aan de wisselstroomklemmen van de Graetz-schakeling.

Lading van de batterij na een netstoring

Heeft de batterij tijdens een storing van het net haar taak als reserve-energiebron vervuld, dan dient ze, na terugkeer van de netspanning, snel te worden geladen, ten einde zo nodig opnieuw te kunnen inspringen. Bij het begin van de lading hebben de cellen een spanning van 2,0 V of minder en heeft de laadstroom dus de maximale waarde (bijv. 15 A bij de gelijkrichter 3067, waarvan fig. 4 de karakteristieken weergeeft). Met een normale karakteristiek, waarvan het horizontale gedeelte bij bijv. 2,15 V per cel ligt, zou reeds bij het bereiken van deze panning de laadstroom tot een kleine waarde (ca 1 A bij het type 3067) teruglopen. Het laden zou dan lang kunnen duren, zodat men wellicht geruime tijd niet over de volle capaciteit van de batterij zou kunnen beschikken. Om deze tijd te verkorten, is de mogelijkheid van zg. snellading aangebracht, die eenvoudig hierop neerkomt dat men tijdelijk de vergelijkingsspanning E_1 vergroot,

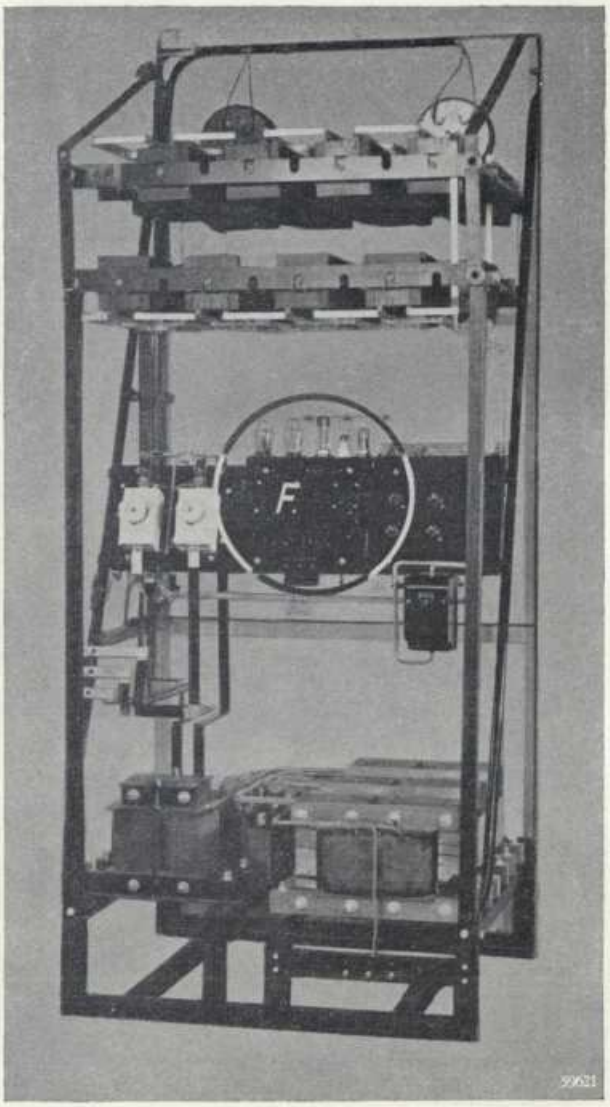


Fig. 7. Achterzijde van een conserveringsgelijkrichter voor 64,5 V, max. 105 A, bestemd voor een groot telegraafkantoor. De gelijkrichter is driefazig uitgevoerd, doch werkt overigens als het type 3067 (fig. 5). De versterker is weer met F aangeduid.

dus de laadspanning op een hoger niveau brengt, overeenkomend met bijv. 2,3 V per cel. De laadstroom behoudt dan zijn maximale waarde tot deze hogere spanning is bereikt, zodat de batterij vlugger geladen is. Het overgaan op snelladen geschiedt door een schakelaar (S, fig. 3) in stand *2* te zetten, waardoor, in plaats van de potentiometer R_5, een potentiometer R_6 in functie komt, die een regeling van de laadspanning tussen bijv. 2,2 en

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

2,4 V per cel veroorlooft (gestippelde kromme in fig. 4). Deze regelbaarheid is gewenst om tijdens het snelladen het bedrijf met de batterij parallelgeschakeld te kunnen laten. In telefooncentrales bijv. mag de voedingsspanning, ter wille van het goed

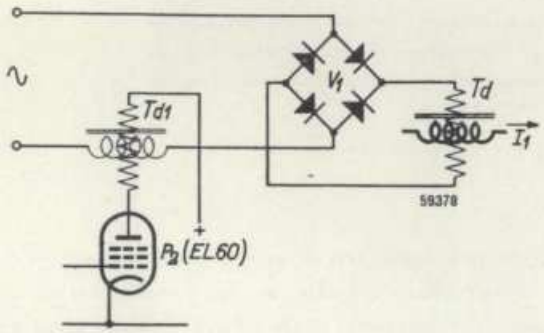


Fig. 8. Cascadeschakeling van een hulptransductor Td_1 en de hoofdtransductor Td. V_1 = hulpgelijkrichter. Op deze wijze kan een hoofdtransductor van groot vermogen worden bestuurd met een betrekkelijk kleine eindbuis (EL 60).

functionneren van bepaalde relais, een bepaalde waarde niet overschrijden; in andere bedrijven daarentegen bestaat een dergelijke beperking niet, waardoor een snellere lading mogelijk wordt.

Hulptransductor voor grote vermogens

Een eindbuis als het type EL 60 (P_2 in fig. 3), met een anodedissipatie van 25 W, is nog juist in staat de bekrachtigingsstroom te leveren voor de transductor van een conserveringsgelijkrichter voor 64,5 V, 15 A. Voor gelijkrichters van groter vermogen zou men kunnen overgaan tot een grotere eindbuis. Voor gelijkrichters met een vermogen van bijv. 64,5 V, 105 A (*fig. 7*) hebben wij echter een andere weg gekozen, en wel een soort cascadeschakeling van twee transductoren. De buis EL 60 bekrachtigt hierbij een kleine hulptransductor (Td_1, *fig. 8*). Deze bestuurt een hulpgelijkrichter (V_1), welke op zijn beurt de bekrachtigingsstroom voor de hoofdtransductor (Td) levert. Voor zeer grote vermogens kan zo nodig de cascadeschakeling met meer hulptransductoren worden uitgebreid.

Samenvatting. In herinnering wordt gebracht dat de stroomvoorziening van bijv. telefooncentrales veel beter met één, in „conserveringslading" gehouden batterij kan geschieden dan met twee beurtelings geladen en ontladen batterijen, zoals van oudsher gebruikelijk is. Conserveringslading wil zeggen dat de batterij permanent met de laadbron is verbonden, en dat men haar spanning houdt tussen 2,1 en 2,2 V per cel (voor loodcellen). Als laadbron kan een gelijkrichter met een constante laadspanning dienen. Beschreven wordt een systeem voor zulk een conserveringsgelijkrichter, waarbij de laadspanning wordt vergeleken met een als constant te beschouwen spanning, gestabiliseerd door een glimbuis met nauwe tolerantie. Het verschil van de beide spanningen wordt door electronenbuizen versterkt en regelt de bekrachtiging van transductor (smoorspoel waarvan de impedantie door middel een van gelijkstroomverzadiging regelbaar is), die in serie met de wisselstroomzijde van de gelijkrichter is geschakeld. Tussen wijde grenzen van de geleverde gelijkstroom is de laadspanning zeer weinig afhankelijk van het spanningsverlies in de ventielen (dus ook van de gelijkstroom), van de netspanning en van de frequentie. In deze en andere opzichten is een grote verbetering verkregen in vergelijking met conserveringsgelijkrichters volgens een ouder systeem. Een toevoeging aan het regelmechanisme maakt het mogelijk, de gelijkstroom te beperken tot een bepaalde, instelbare waarde. Met een omschakelaar kan men een hogere laadspanning kiezen, om de batterij, als deze na een netstoring gedeeltelijk of geheel is ontladen, snel weer in geladen toestand te kunnen brengen. In het regelmechanisme wordt als eindbuis een penthode EL 60 gebruikt (anodedissipatie 25 W); deze kan rechtstreeks de bekrachtiging leveren voor de transductor van een gelijkrichter voor bijv. 64,5 V, 15 A. In plaats van bij grotere vermogens over te gaan tot een grotere eindbuis, is het vaak voordeliger, de genoemde buis een hulptransductor te laten besturen, die op zijn beurt pas de hoofdtransductor bestuurt (eventueel met tussenkomst van andere hulptransductoren.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

THEORIE VAN STEEKPROEFSCHEMA'S

door H. C. HAMAKER.

620.113.2:658.562:31

Ten einde inzicht te verkrijgen in de factoren die bij het organiseren van een steekproef-contrôle medewerken, is het nodig de mathematische grondslagen van het steekproefprobleem nader te beschouwen. Daardoor wordt het mogelijk de verschillende steekproefsystemen die in gebruik zijn met elkaar te vergelijken en het voor de practijk meest geschikte schema vast te leggen.

Berekening van de keuringskarakteristiek

In een voorafgaand artikel [1]) hebben we de fundamentele aspecten van steekproefsgewijze keuringen behandeld en de drie meest gebruikelijke steekproefsystemen besproken, nl. het enkelvoudige, het dubbele en het onbepaalde systeem. We vonden daarbij dat de keuringsprestaties van een steekproefschema in het algemeen kunnen worden voorgesteld door de keuringskarakteristiek. Deze geeft de kans P dat een partij zal worden goedgekeurd weer als functie van het foutenpercentage in deze partij. In *fig. 1* zijn een aantal keuringskarakteristieken getekend van enkelvoudige steekproefschema's. Door het criterium c_0 (dit is het aantal uitvallers dat maximaal in de steekproef mag voorkomen, wil de partij worden goedgekeurd) te vergroten, verschuift de karakteristiek naar hogere percentages, zoals te verwachten was. In de buurt van het maximaal toegestane uitvalpercentage $c_0/n_0 \times 100\%$ (n_0 is de steekproefgrootte) vertoont de grafiek het steilste verloop. Houden we de verhouding c_0/n_0 constant, doch vergroten we de steekproef, dan blijft de karakteristiek ongeveer op dezelfde plaats; de helling neemt echter toe. In het limietgeval, wanneer de steekproef de gehele partij omvat, bestaat de karakteristiek uit de horizontale lijn $P = 1$ voor foutenpercentages kleiner dan het toegelaten percentage, en de horizontale lijn $P = 0$ voor grotere foutenpercentages; beide lijnstukken zijn verbonden door een verticale lijn. Deze grafiek behoort bij een ideale keuring; alle fouten worden hierbij opgespoord en kunnen verwijderd worden. Indien wij een echte steekproef nemen, keuren wij slechts een gedeelte van de partij, en het is van belang te kunnen berekenen hoe de keuringskarakteristiek dan verloopt. Daartoe moeten we de waarschijnlijkheidsrekening te hulp roepen.

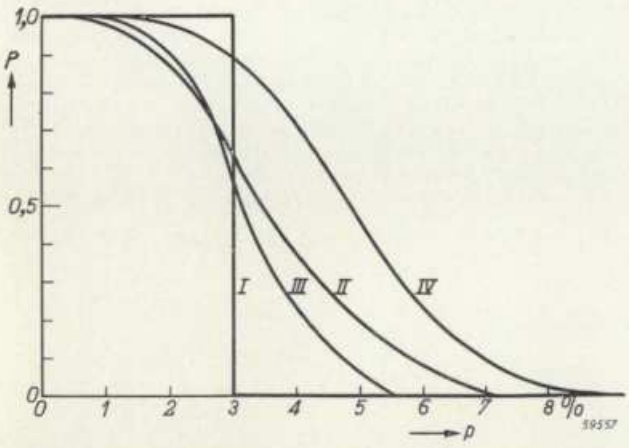


Fig. 1. Enkele voorbeelden van keuringskarakteristieken van enkelvoudige steekproefschema's. *I* karakteristiek van een „steekproef", waarvan de grootte gelijk is aan de grootte der gehele partij. *II* karakteristiek van een schema met steekproefgrootte $n_0 = 200$ en criterium $c_0 = 6$. *III* idem, nu is $n_0 = 400$, $c_0 = 12$. De verhouding c_0/n_0 is constant gebleven, de steekproef is echter vergroot, vandaar dat de helling van kromme *III* groter is dan de helling van kromme *II*. *IV* idem, $n_0 = 200$, $c_0 = 9$. Vergeleken met kromme *II* is deze karakteristiek een groot stuk naar rechts verplaatst. Dit komt doordat bij gelijkblijvende steekproefgrootte het criterium is vergroot.

Gegeven zij een partij bestaande uit N stuks, waaronder M foutieve exemplaren. We trekken nu uit deze partij een willekeurige steekproef van n_0 stuks; hoe groot is de kans dat we hieronder m uitvallers zullen aantreffen? Het is mogelijk deze kans in het meest algemene geval te berekenen, de formules worden dan echter lastig hanteerbaar.

In zeer vele practisch voorkomende gevallen vormt de steekproef slechts een klein gedeelte van de partij, dus geldt:

$$n_0 \ll N,$$

terwijl dan ook voldaan zal zijn aan:

$$m \ll M.$$

Tevens zal in de meeste gevallen het foutenpercentage $p = M/N$ in de partij klein zijn, dwz. van de

[1]) H. C. Hamaker, De keuring van partijen door middel van steekproeven, Philips techn. T. **11**, 187-194, 1949 (No. 6). Verder aangeduid als I.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

orde van enkele procenten. Met andere woorden, we nemen aan dat

$$p \ll 1.$$

Indien aan deze voorwaarden is voldaan, geldt voor de waarschijnlijkheid dat de steekproef m uitvallers bevat, de formule van Poisson:

$$\Pi(m; n_0, p) = \frac{e^{-n_0 p}(n_0 p)^m}{m!}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Wij zien dat deze waarschijnlijkheid behalve van m slechts afhangt van het product $n_0 p$, en niet van de steekproefgrootte en het foutenpercentage afzonderlijk.

Bij een enkelvoudige steekproef, bepaald door de steekproefgrootte n_0 en het criterium c_0, interesseren we ons echter niet voor de kans dat juist m uitvallers zullen worden aangetroffen, doch voor de kans dat we c_0 of minder uitvallers in de steekproef zullen vinden (zie I, blz. 188). Deze kans P vinden we uit (1) door sommatie:

$$P(c_0; n_0 p) = \sum_{m=0}^{c_0} \frac{e^{-n_0 p}(n_0 p)^m}{m!}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

Dit is dan tevens de wiskundige uitdrukking voor de keuringskarakteristiek van het enkelvoudige steekproefschema.

De goedkeurkans voor de dubbele steekproef wordt door een iets ingewikkelder uitdrukking gegeven, namelijk:

$$P(c_1; c_2; c_3; n_1 p; n_2 p) = P(c_1; n_1 p) + \\ + \sum_{k=c_1+1}^{c_2} \Pi(k; n_1 p)\, P(c_3 - k; n_2 p). \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Daarbij zijn de drie criteria zo gedefinieerd dat na de eerste steekproef een partij wordt goedgekeurd wanneer het aantal uitvallers kleiner is dan of gelijk is aan c_1, en afgekeurd wanneer dit aantal groter is dan c_2, terwijl na de tweede steekproef wordt goedgekeurd indien het totaal aantal kleiner is dan of gelijk is aan c_3. (Zie I, blz. 191.) De eerste term in het rechterlid van (3) geeft dan de kans dat de partij reeds bij de eerste steekproef zal worden goedgekeurd, de tweede term geeft de kans dat in de eerste steekproef geen beslissing valt, en in de tweede steekproef goedkeuring plaats heeft.

We interesseren ons niet alleen voor de keuringskarakteristiek doch ook voor het uiteindelijk aantal waarnemingen dat moet worden verricht. Voor de enkelvoudige steekproef is dit steeds constant, namelijk gelijk n_0, doch voor de dubbele steekproef is het niet constant; soms is het gelijk aan de grootte van de eerste steekproef, soms aan de som van de grootten van beide steekproeven samen, en ook al beschouwen we een serie partijen met hetzelfde foutenpercentage, dan nog zullen naar de speling van het toeval soms één en soms twee steekproeven vereist zijn. We kunnen hier alleen een gemiddeld aantal waarnemingen definiëren, dat dan zal worden gegeven door

$$\bar{n} = n_1 + n_2 \sum_{k=c_1+1}^{c_2} \Pi(k; n_1 p), \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

dwz. de grootte van de eerste steekproef plus de grootte van een tweede steekproef maal de kans dat een tweede steekproef genomen moet worden. Deze gemiddelde steekproefgrootte is nog afhankelijk van het foutenpercentage in de partij, zoals de formule laat zien. Over zeer goede of zeer slechte partijen wordt in het algemeen reeds na de eerste steekproef beslist en voor deze is de gemiddelde steekproefgrootte dus ten naaste bij gelijk aan n_1. Bij twijfelachtige partijen zal echter vrij dikwijls een tweede steekproef worden genomen en hier zal de gemiddelde steekproefgrootte dus groter zijn. Als functie van het foutenpercentage vertoont de gemiddelde steekproefgrootte een maximum.

De Poisson-functies Π en P zijn uitvoerig getabelleerd [2]); uit deze tabellen kunnen de karakteristieken voor het enkelvoudige steekproefsysteem direct worden geconstrueerd, terwijl die voor het dubbele steekproefsysteem gemakkelijk kunnen worden berekend.

Ook voor het onbepaalde steekproefsysteem bestaan formules waaruit de karakteristiek en de gemiddelde steekproefgrootte kunnen worden bepaald. Deze zijn echter gecompliceerder, reden waarom we ze hier niet in detail zullen weergeven. Zij zijn te vinden in enkele artikelen van Wald en Barnard [3]). Zoals gemakkelijk is te begrijpen, gaat ook bij het onbepaalde steekproefsysteem de gemiddelde steekproefgrootte als functie van het foutenpercentage door een maximum.

Fundamentele parameters

Aan het slot van het vorige artikel hebben we uiteengezet dat bij de practische keuze van een steekproefschema economische factoren een rol spelen die we niet nauwkeurig kunnen vastleggen. Hieruit werd de conclusie getrokken, dat een preciese kennis van de keuringskarakteristiek niet

---

[2]) E. C. Molina, Poisson's exponential binomial limit, D.van Nostrand, New York 1947. Kleinere tabellen in: E. L. Grant, Statistical quality control, McGraw Hill, New York 1946, en in T. C. Fry, Probability and its engineering uses, D. van Nostrand, New York 1928.

[3]) A. Wald, Ann. Math. Stat. **16**, 117-187, 1945 en J. Am. Stat. Ass. **40**, 277-306, 1945. G. A. Barnard, Supp. J. Roy. Stat. Soc. **8**, 1-27, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

wordt vereist, zodat we er mee kunnen volstaan deze kromme door enkele parameters te bepalen. Twee kenmerkende eigenschappen springen nu terstond in het oog, namelijk de steilheid waarmede de karakteristiek verloopt, en de plaats waar deze het steilste verloop vertoont. (Zie bijv. de karakteristieken in fig. 1.) Deze eigenschappen kiezen we nu als grondslag voor de keuze van twee parameters. De plaats van de karakteristiek leggen we vast door het „contrôlepunt" p_0, dit is het foutenpercentage waarvoor de goedkeurkans $\frac{1}{2}$ is; dus bij definitie is:

$$P(p_0) = \tfrac{1}{2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

De steilheid van de karakteristiek leggen we vast door de „relatieve helling", h_0, in het contrôlepunt, gedefinieerd door

$$h_0 = -\left\langle \frac{p}{P}\frac{\mathrm{d}P}{\mathrm{d}p} \right\rangle_{p=p_0} = -\left\langle \frac{\mathrm{d}\log P}{\mathrm{d}\log p} \right\rangle_{p=p_0} \quad . \quad . \quad (6)$$

Het negatieve teken is toegevoegd ten einde h_0 tot een essentieel positieve grootheid te maken.

Dat we hier de „relatieve helling" en niet de absolute helling $(\mathrm{d}P/\mathrm{d}p)_{p=p_0}$, nemen, heeft een goede reden. De waarschijnlijkheden volgens Poisson (formules (1) en (2)) hangen namelijk, zoals reeds vermeld, slechts af van het product np, en niet van n en p afzonderlijk. Vermeerderen of verminderen we dus in een bepaald enkelvoudig steekproefschema de steekproefgrootte, of in een dubbel schema alle steekproefgrootten in dezelfde verhouding, terwijl c_0, respectievelijk alle criteria, constant blijven, dan zal dit wat de karakteristiek betreft neerkomen op een verandering van de p-schaal en anders niet. Een dergelijke transformatie laat, zoals gemakkelijk is in te zien, de grootheid h_0 onveranderd; deze parameter is dus onafhankelijk van de absolute grootte der steekproeven, hetgeen, zoals we zullen zien, een groot voordeel is.

Uit de zojuist gemaakte opmerkingen volgt verder dat we gegeven steekproefschema's steeds kunnen aanpassen bij een voorgeschreven waarde van het contrôlepunt, p_0, door alleen de grootte der steekproef, of steekproeven, te wijzigen. Dit is een aanpassing die altijd gemakkelijk kan geschieden, en we kunnen alle steekproefschema's met hetzelfde criterium, respectievelijk dezelfde criteria (en, bij dubbele steekproefschema's, met dezelfde verhouding der steekproefgrootten) als tot één klasse behorend samenvatten. Deze klasse kan dan worden beschreven door één enkele karakteristiek, welke in hoofdzaak gekenmerkt zal zijn door slechts één parameter, nl. zijn relatieve helling, h_0. De verschillende karakteristieken van de steekproefschema's van één klasse kunnen we met deze „klasse-karakteristiek" doen samenvallen door P niet uit te zetten tegen p, doch tegen het relatieve foutenpercentage p/p_0.

Enkelvoudige steekproefschema's

Voor enkelvoudige steekproefschema's blijkt een zeer eenvoudig verband te bestaan tussen de steekproefgrootte n_0 en het criterium c_0 enerzijds en de parameters p_0 en h_0 anderzijds; hier gelden namelijk de volgende twee empirische vergelijkingen:

$$n_0 p_0 = c_0 + 0{,}67 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

$$\pi/_2\, h_0^2 = n_0 p_0 + 0{,}06 = c_0 + 0{,}73 \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

De geldigheid van de eerste dezer vergelijkingen werd reeds in 1923 geconstateerd door Campbell[4]). Hij voerde nauwkeurige berekeningen van $n_0 p_0$ uit, die gedeeltelijk in *tabel I* in de tweede kolom zijn opgenomen. Door vergelijking met de eerste kolom ziet men onmiddellijk hoe nauwkeurig aan (7) wordt voldaan.

Voor grote waarden van c_0 gaat vergelijking (7) over in $n_0 p_0 \approx c_0$ of $p_0 \approx c_0/n_0$. Dat een dergelijke relatie moet bestaan, is ook direct in te zien: partijen met een foutenpercentage gelijk aan het maximaal toegelaten uitvalpercentage in de steekproef zullen ongeveer dezelfde kans lopen goedgekeurd, dan wel afgekeurd te worden.

Campbell vond tevens dat voor grote waarden van c_0, of van $n_0 p_0$, asymptotisch moet gelden

$$\pi/_2\, h_0^2 = n_0 p_0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8a)$$

Door de correctieterm + 0,06 in (8), die zuiver empirisch werd gevonden, wordt bewerkstelligd dat de betrekking (8) ook voor kleine waarden van c_0 geldig blijft. De laatste twee kolommen van tabel I

Tabel I. Berekening van $n_0 p_0$ en h_0 voor een enkelvoudig steekproefschema met gegeven criterium.

c_0	$n_0 p_0$	h_0 uit (8)	h_0 exact berekend
0	0,693	0,682	0,693
2	2,674	1,319	1,319
4	4,671	1,736	1,735
6	6,670	2,070	2,069
8	8,669	2,357	2,356
10	10,668	2,613	2,613
15	15,668	3,164	3,164
20	20,668	3,633	3,632
25	25,667	4,047	4,047
30	30,667	4,423	4,422

[4]) G. A. Campbell, Bell System Technical Journal **2**, 95-112, 1923.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

tonen dat de benadering alleszins bevredigend kan worden genoemd.

Het is nu zonder meer duidelijk dat het door middel van (7) en (8) terstond mogelijk is voor een gegeven enkelvoudig steekproefschema, dus bij gegeven n_0 en c_0, p_0 en h_0 te berekenen, en omgekeerd bij gegeven p_0 en h_0, n_0 en c_0 te vinden.

Hier doet zich de moeilijkheid voor, dat n_0 en c_0 uit de aard der zaak steeds positieve gehele getallen moeten zijn, zodat ook p_0 en h_0 niet in iedere willekeurige combinatie van waarden kunnen voorkomen. Dit ongemak kunnen we door de volgende kunstgreep verhelpen. We voeren enkelvoudige schema's in met gebroken waarden van n_0 en c_0. Een schema met $c_0 = 3{,}63$ bijvoorbeeld definiëren wij als volgt. We zetten een loterij op touw waarin per 100 loten er 63 voorkomen waarop een 4 staat geschreven en 37 waarop een 3 prijkt. Terwijl we de steekproef nemen, trekken we tevens een lot uit deze loterij en we gebruiken als criterium het getal dat we op dit lot aflezen. Zijn voor een partij met gegeven foutenpercentage P_3 en P_4 de goedkeurkansen wanneer het criterium 3 respectievelijk 4 bedraagt, dan zal de goedkeurkans bij een criterium 3,63 kunnen worden gedefinieerd als:

$$P_{3{,}63} = 0{,}37\ P_3 + 0{,}63\ P_4.$$

Onze definitie komt dus neer op een lineaire interpolatie tussen de voor verschillende criteria op elkaar volgende karakteristieken. Gebroken waarden van n_0 kunnen op precies dezelfde wijze worden ingevoerd. Deze kunstgreep zal de lezer wellicht op het eerste gezicht een beetje vreemd en gewild voorkomen, en het is ook zeker niet onze mening dat een dergelijk schema met gebroken waarden van n_0 en c_0 voor practische toepassing in aanmerking komt, doch we zullen zien dat deze uitbreiding theoretisch van waarde is, wanneer we naast enkelvoudige schema's ook andere steekproefschema's in ogenschouw nemen.

Uit de regelmatige opeenvolging van de karakteristieken voor het enkelvoudig schema kunnen we nu verder concluderen dat de betrekkingen (7) en (8), die aanvankelijk voor discrete gehele waarden van n_0 en c_0 zijn geverifieerd, ook van kracht zullen blijven voor gebroken waarden van deze grootheden. We zijn dientengevolge in staat bij ieder stel waarden p_0 en h_0 een enkelvoudig steekproefschema te construeren, en er zal juist één dergelijk schema bestaan dat aan de gestelde verlangens voldoet.

Dubbele steekproefschema's

De in het vorige artikel gegeven beschouwingen wettigden het vermoeden dat een dubbel steekproefschema efficienter werkt dan een enkelvoudig schema, dwz. dat hetzelfde keuringsresultaat kan worden bereikt ten koste van een kleiner aantal waarnemingen. Hoe kunnen we nu de winst meten, die langs deze weg kan worden behaald? Laten we daartoe uitgaan van een dubbel steekproefschema met de steekproefgrootten $n_1 = 100$, $n_2 = 200$ en de criteria $c_1 = 2$, $c_2 = 6$, $c_3 = 10$. Berekenen we voor dit schema de karakteristiek met behulp van vergelijking (3), dan verkrijgen we de kromme die is afgebeeld in *fig. 2*. Voor deze kromme bezitten de fundamentele parameters de volgende waarden:

$$p_0 = 0{,}0379\ ; \quad h_0 = 2{,}422.$$

Het ligt voor de hand het dubbele schema te vergelijken met een enkelvoudig schema waarvoor deze parameters dezelfde waarden bezitten. Volgens vergelijkingen (7) en (8) moet dan

$$n_0 = 241{,}7 \quad \text{en} \quad c_0 = 8{,}49 \quad \text{zijn,}$$

en het schema dat volgens de definitie van de vorige paragraaf hiermede correspondeert, bezit een karakteristiek die door de punten in fig. 2 is aangeduid.

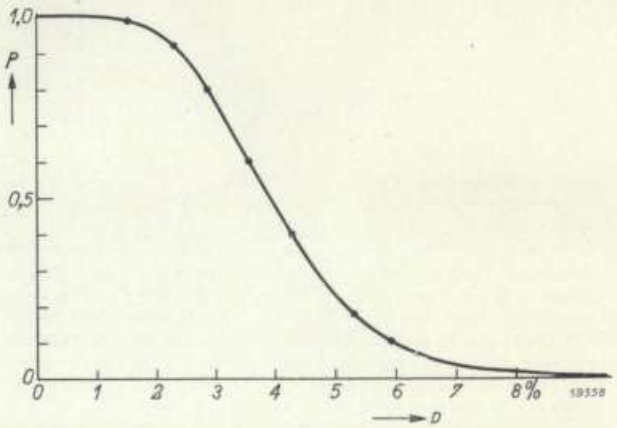


Fig. 2. Keuringskarakteristiek van een dubbel schema met $n_1 = 100$, $n_2 = 200$, $c_1 = 2$, $c_2 = 6$, $c_3 = 10$. De punten behoren bij het enkelvoudige schema dat gelijkwaardig is met het door de kromme voorgestelde dubbele schema.

We zien dat deze niet alleen in het midden doch vrijwel van top tot teen met de karakteristiek van het dubbele schema samenvalt. De overeenstemming is zó goed, dat beide schema's in de practijk volkomen hetzelfde keuringsresultaat zullen opleveren. We zullen ze daarom „gelijkwaardig" noemen.

Berekenen we vervolgens de gemiddelde steekproefgrootte van het dubbele schema volgens (4), dan vinden we dat deze grootheid als functie van het foutenpercentage wordt weergegeven door kromme *I* in *fig. 3*, terwijl de steekproefgrootte van het „gelijkwaardige enkelvoudige schema" wordt voorgesteld door de horizontale rechte *II*. De keuze van de steekproefgrootten is in deze figuur nog min of meer willekeurig, doch willen we ons hiervan onafhankelijk maken, dan kunnen we de steekproefgrootte van het dubbele schema delen door die van het enkelvoudige schema. We krijgen aldus de inverse efficientiekarakteristiek[5])

[5]) De toevoeging inverse is gemotiveerd door de bijzondere definitie van de bedoelde grootheid; deze neemt nl. toe als de besparing afneemt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van het dubbele schema; zij wordt eveneens gegeven door kromme *I* in fig. 3, mits geïnterpreteerd in de rechts aangegeven schaal. We zien dat bij zeer goede partijen het dubbele schema gemiddeld met ongeveer 40% van het aantal waarnemingen

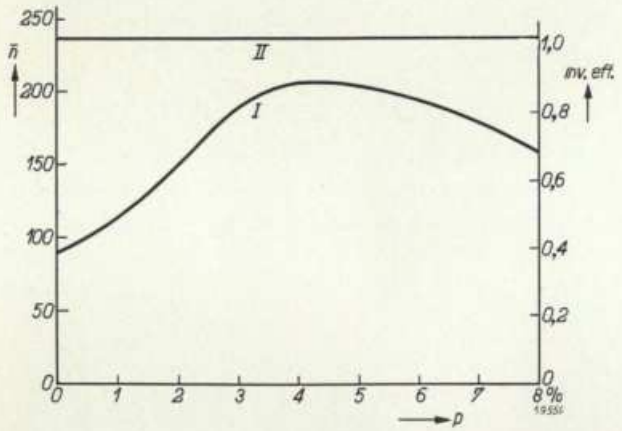


Fig. 3. Verband tussen de gemiddelde steekproefgrootte en het foutenpercentage van de partij. *I* geeft de gemiddelde steekproefgrootte voor het dubbele schema van fig. 2; deze hangt af van het foutenpercentage; *II* geeft de (constante) steekproefgrootte van het gelijkwaardige enkelvoudige schema. Voor zeer goede en zeer slechte partijen is de gemiddelde steekproefgrootte van de dubbele steekproef aanzienlijk geringer dan die van de enkelvoudige steekproef; gemiddeld bedraagt de besparing ongeveer 30%. In de rechts aangegeven schaal geïnterpreteerd, stelt kromme *I* de inverse efficientiekarakteristiek van het dubbele schema voor.

uitkomt, terwijl in ongunstige gevallen, nabij de top van de kromme, de besparing slechts een betrekkelijk klein percentage bedraagt. Naar rechts voortgezet daalt de kromme, en zij bereikt voor zeer grote p weer de waarde 40 %; ook voor zeer slechte partijen verkrijgt men dus een grote besparing.

Aan het zojuist gegeven voorbeeld ligt een algemeen principe ten grondslag, dat we hieronder nog verder en uitvoerig zullen toepassen. Voor ieder stelsel waarden van de parameters p_0 en h_0 bestaat één en slechts één enkelvoudig schema. Daar bovendien het enkelvoudige het meest simpele van alle steekproefsystemen is, ligt het voor de hand het enkelvoudige schema als algemene standaard te aanvaarden; voor alle enkelvoudige schema's is de inverse efficientie dan bij definitie gelijk één. Andere steekproefschema's worden beoordeeld op grond van hun inverse efficientie, dat wil zeggen op grond van een vergelijking met het gelijkwaardige enkelvoudige schema. Dit principe is natuurlijk alleen dan aanvaardbaar indien de coïncidentie van de karakteristieken even gunstig uitvalt als in figuur 2; dat dit doorgaans zo is zullen we nog aan menig voorbeeld laten zien.

Wij hebben reeds gezien dat het voordeel heeft over te gaan op de „klasse-karakteristiek", dwz. langs de abscis-as p/p_0 uit te zetten. De kenmerkende grootheden voor een dubbel schema zijn dan: de verhouding van de beide steekproefgrootten en de criteria; deze zullen we kortheidshalve in de volgende notatie weergeven:

$$D(n_2/n_1\,;\ c_1, c_2, c_3).$$

Het symbool

$$D(2;\ 2,\ 6,\ 10)$$

duidt dus alle dubbele schema's aan waarvoor de tweede steekproef tweemaal zo groot is als de eerste en waarvoor de criteria respectievelijk 2, 6 en 10 bedragen. Het boven besproken schema behoort hiertoe. *Fig. 4* geeft een drietal dubbele schema's weer voor welke het zg. schermendiagram nagenoeg dezelfde structuur bezit (zie fig. 4*a*). De keuringskarakteristieken van deze schema's zijn vergeleken met die van hun gelijkwaardige enkelvoudige tegenhangers. De onderlinge overeenstemming is zeer bevredigend (zie de punten in fig. 4*b*).

Wat de efficientie betreft, verwachten we intuïtief dat deze bij de drie schema's ongeveer dezelfde

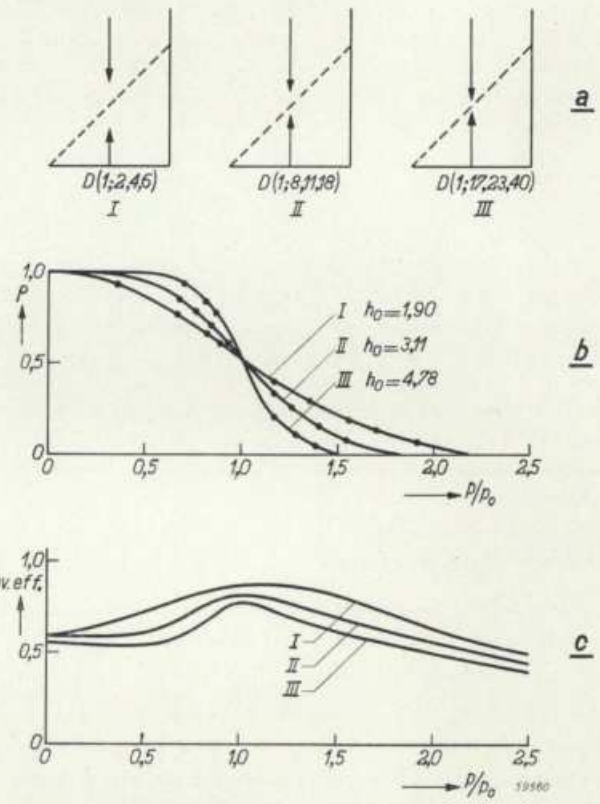


Fig. 4. *a*) Drie nagenoeg gelijkvormige schermendiagrammen behorende bij de drie dubbele steekproefschema's *I*, *II* en *III*. *b*) Keuringskarakteristieken van deze schema's. Goedkeurkans uitgezet tegen het relatieve foutenpercentage. In de figuur is de uitstekende overeenstemming te zien tussen de keuringskarakteristieken van de dubbele schema's en hun aequivalente enkelvoudige schema's, voorgesteld door de punten. *c*) Efficientiekarakteristieken van de drie schema's (inverse efficientie als functie van het relatieve foutenpercentage).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zal zijn, en de efficientiekarakteristieken bevestigen dit (fig. 4*c*). Alleen hoe steiler de karakteristiek, hoe scherper het maximum in deze laatste krommen. Practisch kan het daarom voordeel hebben de inverse efficientie niet tegen p/p_0 doch tegen de goedkeurkans P uit te zetten die voor elk der drie gevallen met p/p_0 correspondeert volgens de kromme I, respectievelijk II, respectievelijk III van fig. 4*b*. Dit is in *fig.* 5 gedaan. De gelijkwaardigheid

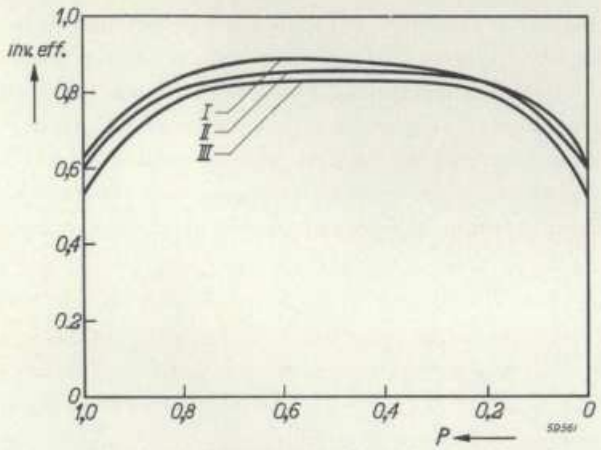


Fig. 5. Efficientiekarakteristieken van de drie schema's van fig. 4; nu is de inverse efficientie uitgezet tegen de goedkeurkans.

van de drie schema's komt dan nog veel duidelijker tot uiting. Bovendien zal men in het algemeen steekproefschema's gebruiken onder omstandigheden waarbij bijv. ongeveer 95% van de te keuren partijen wordt goedgekeurd en 5% afgekeurd; dus in de omgeving van een goedkeurkans $P = 0{,}95$. Een vergelijking in dit opzicht wordt door de in figuur 5 gegeven krommen bijzonder gemakkelijk en overzichtelijk. We lezen uit deze figuur tevens af dat een goed dubbel steekproefschema onder practische omstandigheden 25 tot 30% der waarnemingen uitspaart ten opzichte van enkelvoudige schema's.

Volgens formule (8) geldt voor het enkelvoudige schema ten naaste bij:

$$p_0 n_0 \approx \sqrt{h_0}\,.$$

Wanneer we nu vragen naar een dubbel schema dat bij een voorgeschreven waarde van p_0 gemiddeld evenveel waarnemingen vereist als een enkelvoudig schema met dezelfde p_0, dan kunnen we volgens het bovenstaande concluderen dat we de relatieve helling van het dubbele schema ongeveer $1/\sqrt{0{,}70} \approx 1{,}2$ maal zo groot mogen kiezen als die van het enkelvoudige schema. Dit principe kan soms goede diensten bewijzen bij de overgang van een enkelvoudige naar een dubbele steekproefkeuring.

In het algemeen is een dubbel schema door vijf gegevens bepaald: de twee steekproefgrootten en de drie criteria. In vrijwel alle bestaande steekproeftabellen [6]) treft men echter dubbele schema's aan die slechts vier parameters vereisen. Dit komt doordat men, in navolging van de oorspronkelijke tabel van Dodge en Romig (zie noot [6])) steeds $c_2 = c_3$ kiest. Uit de schermendiagrammen in *fig. 6a* zien we terstond dat deze vereenvoudiging met zich mede brengt dat soms slechte partijen in de eerste steekproef als twijfelachtig zullen worden beschouwd die vrijwel zeker in de tweede steekproef zullen worden afgekeurd. We moeten dus verwachten dat schema's volgens het principe van Dodge en Romig vooral aan de zijde van slechte partijen minder efficient werken. De efficientiekarakteristiek laat dit ook duidelijk zien (fig. 6*b*, geval II). Dit effect zal nog aanzienlijk sterker worden indien men c_1 te groot maakt, zodat de opening in het eerste scherm, als in fig. 6*a*, geval III, geheel boven de lijn uitkomt die de oorsprong met het scheidingspunt in het tweede scherm verbindt. De inverse efficientie van een dergelijk schema is, behoudens voor zeer goede partijen, groter dan 1, zoals men in fig. 6*b* (kromme III) ziet; het gemiddeld aantal waarnemingen is dus groter dan bij een gelijkwaardig enkelvoudig schema, dwz. zulk een dubbel schema heeft practisch geen zin. Niettemin komt men in de literatuur dergelijke schema's tegen.

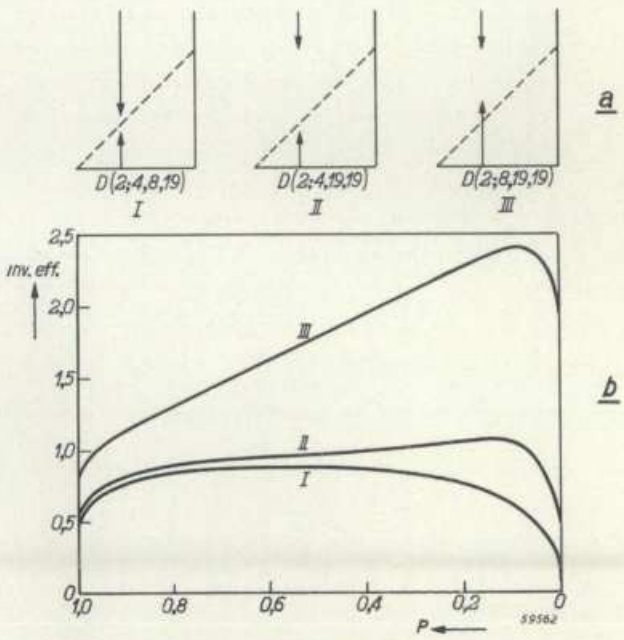


Fig. 6. Efficientiekarakteristieken (*b*) van drie dubbele schema's met bijbehorende schermendiagrammen (*a*). De grote invloed van een ondoelmatige vaststelling der criteria komt duidelijk tot uiting en wel vooral aan de zijde der slechte partijen.

[6]) H. F. Dodge and H. G. Romig, Single sampling and double sampling inspection tables, Bell System Technical Journal **20**, 1-61, 1941. Sampling inspection tables; single and double sampling, Wiley, New York 1944. Sampling inspection, Statistical Research Group Columbia University, McGraw Hill, New York 1948. Zie ook het onder [2]) genoemde werk van E. L. Grant.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Geval *I* in fig. 6 stelt daarentegen een schema voor waarbij niet aan de beperking volgens Dodge en Romig is voldaan; de criteria zijn daar zo gunstig mogelijk gekozen. Dit schema blijkt dan ook zeer efficient te werken.

Het aantal mogelijke dubbele steekproefschema's is zeer groot en uit deze veelheid zullen we in de practijk slechts een gering aantal nodig hebben. Het zal wel duidelijk zijn geworden, dat we daarbij in de inverse efficientie een zeer geschikte maat bezitten om de merites van verschillende schema's tegen elkaar af te wegen en aldus onze keuze te bepalen.

Het blijkt dan dat het in het algemeen het gunstigste is de tweede steekproef tweemaal zo groot te nemen als de eerste, en dat het weinig zin heeft die verhouding te variëren. Houden we verder om der wille van de eenvoud vast aan het principe $c_2 = c_3$, dan vinden we dat voor een goede efficientie c_3 5 tot 7 maal zo groot moet worden gekozen als c_1. Ten slotte heeft het voordeel de steekproefschema's te classificeren naar de relatieve helling h_0. Hoe groter h_0 des te steiler verloopt de karakteristiek en des te groter is het gemiddeld aantal waarnemingen dat wordt vereist.

We krijgen dan bijvoorbeeld een serie dubbele steekproefschema's als in onderstaande *tabel II*.

Gebruiken we nu bijvoorbeeld een enkelvoudige steekproef met $n_0 = 180$ en $c_0 = 4$, dan vinden we uit de formules (7) en (8), dat hiermede correspondeert $p_0 = 0{,}0260$ en $h_0 = 1{,}74$. Willen we dit schema door een dubbel schema vervangen, dan zoeken we in tabel II dat schema op dat ten naaste bij dezelfde h_0 bezit, dus het schema $D(2; 1, 5, 5)$. Daar voor dit schema $n_1 p_0 = 2{,}19$, moeten we de grootte van de eerste steekproef $n_1 = 2{,}19/0{,}026 = 84$ nemen, hetgeen we gemakshalve op 85 kunnen afronden. Daarmee is dan het gezochte dubbele schema gevonden.

Tabel II. Gegevens voor de constructie van een dubbel steekproefschema, wanneer h_0 en p_0 gegeven zijn.

Schema	h_0	$n_1 p_0$
$D(2; 0, 1, 1)$	0,93	0,84
$D(2; 0, 2, 2)$	1,20	1,07
$D(2; 0, 3, 3)$	1,40	1,35
$D(2; 0, 4, 4)$	1,63	1,64
$D(2; 1, 5, 5)$	1,69	2,19
$D(2; 1, 6, 6)$	1,90	2,44
$D(2; 1, 7, 7)$	2,08	2,71
$D(2; 2, 10, 10)$	2,41	3,78
$D(2; 2, 12, 12)$	2,74	4,35
$D(2; 3, 15, 15)$	2,97	5,40
$D(2; 4, 20, 20)$	3,39	7,02
$D(2; 5, 25, 25)$	3,82	8,66
$D(2; 6, 30, 30)$	4,28	10,31

Natuurlijk zou het mogelijk zijn tabel II aanzienlijk uit te breiden zodanig dat we de gezochte waarde van h_0 veel dichter zouden kunnen benaderen. Doch voor normale toepassingen is de boven gegeven serie ruimschoots voldoende.

Het onbepaalde schema

Zoals in artikel I is beschreven, moet bij het onbepaalde steekproefschema het schermendiagram van het dubbele schema worden vervangen door twee evenwijdige lijnen. Een dergelijk lijnenstelsel wordt door drie parameters vastgelegd, waarvoor we bijvoorbeeld de tangens van de hellingshoek α, en de beide op de verticale as afgesneden segmenten zouden kunnen nemen (zie *fig. 7*). Daar we gezien hebben dat een keuringskarakteristiek door de twee parameters p_0 en h_0 in hoofdzaak wordt bepaald, rijst terstond het vermoeden, dat bij ieder stelsel waarden van p_0 en h_0 een enkelvoudig oneindig stelsel van onbepaalde steekproefschema's zal behoren. Dit blijkt ook inderdaad het geval te zijn.

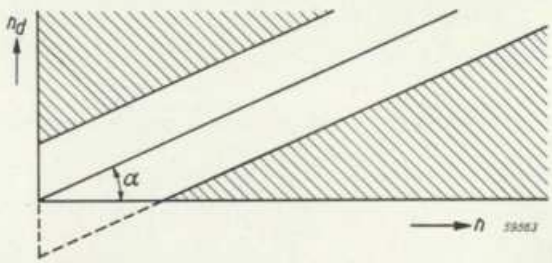


Fig. 7. Schermendiagram van een onbepaald steekproefschema. Slechts die schema's blijken efficient te zijn, waarvan de, door de beide grenslijnen op de verticale as aan weerszijden van de oorsprong afgesneden, stukken ongeveer gelijk zijn. Als parameters voor zulk een onbepaald schema kunnen dan worden gekozen de lengte van deze stukken en de tangens van de hellingshoek α.

Wanneer we voor deze onbepaalde schema's echter weer een efficientiekarakteristiek berekenen op dezelfde basis als in de voorgaande gevallen, dan zien we dat alleen die onbepaalde schema's efficient zijn waarvoor de beide grenslijnen ten naaste bij symmetrisch gelegen zijn ten opzichte van de oorsprong. Beperken we ons tot het symmetrische geval, dan worden de formules voor deze grenslijnen uitermate eenvoudig, namelijk

$$n_d = \pm h_0 + n p_0, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

waarin n_d het aantal uitvallers voorstelt nadat in totaal n exemplaren zijn gekeurd. Men gaat dus met keuren door zolang het aantal uitvallers n_d binnen deze grenzen ligt.

Bij gegeven p_0 en h_0 is nu het construeren van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

een onbepaald schema eenvoudig. In de practijk blijkt een dergelijk schema echter niet goed te voldoen, omdat men na iedere gekeurde eenheid opnieuw moet vaststellen of men al dan niet tussen de door (9) gegeven grenzen ligt (door toepassing van een automatisch telmechanisme zou men dit bezwaar kunnen ondervangen), terwijl bovendien de mogelijkheid bestaat dat men soms zeer lang met keuren zal moeten doorgaan, alvorens de beslissing valt.

Veel practischer is het daarom een tussenweg te bewandelen, door een aantal steekproeven achtereen te nemen en na inspectie van iedere steekproef na te gaan of men moet goedkeuren, afkeuren, dan wel een verdere steekproef nemen, terwijl men bovendien kan voorschrijven dat na een eindig aantal steekproeven de serie definitief moet worden afgebroken. Dergelijke systemen zijn beschreven door de Statistical Research Group, Columbia University (zie noot [6])), en door J. H. Enters [7]). De wijze waarop het systeem door Enters wordt toegepast is bijzonder eenvoudig. Hij varieert echter alleen de steekproefgrootten, zodat zijn systeem slechts bij één enkele waarde van de relatieve helling h_0 behoort. Men kan ook systemen met verschillende h_0 afleiden [8]), en het blijkt mogelijk deze in een dergelijk eenvoudig lijstje samen te vatten als in tabel II met de dubbele steekproeven werd gedaan. Het onderzoek van deze systemen is nog niet afgesloten.

Andere parameterstelsels

Tot dusverre hebben we de parameters p_0 en h_0 beschouwd als de fundamentele grootheden waardoor een keuringskarakteristiek wordt vastgelegd. De eenvoud van de formules (7) en (8) en de succesvolle invoering van het begrip inverse efficientie waren hiervan het resultaat. Anderzijds is het echter nog de vraag, of deze beide parameters zich aansluiten bij de eisen van de practijk. Dit behoeft geenszins het geval te zijn; het valt bijvoorbeeld op, dat in alle bestaande steekproeftabellen, die toch op practische toepasbaarheid zijn ingesteld, van andere parameters gebruik wordt gemaakt. We zullen hieronder enkele van de meest gebruikte parameterstelsels bespreken.

Het doel van een steekproefkeuring is meestal in eerste instantie de afnemer te beschermen tegen de aflevering van zo nu en dan voorkomende „slechte" partijen. Doch we zullen de keuring dan zo moeten inrichten dat tevens niet te veel „goede" partijen door een speling van het toeval als ondeugdelijk aan de producent worden geretourneerd. Beiden, producent en afnemer, zullen dus hun eisen stellen, en een van de parameterstelsels die men heeft ingevoerd is er op gericht zo rechtstreeks mogelijk met beider eisen rekening te houden. Men kiest daartoe twee punten op de keuringskarakteristiek, het ene bovenin en het andere onderin de kromme gelegen, als in *fig. 8* aangegeven.

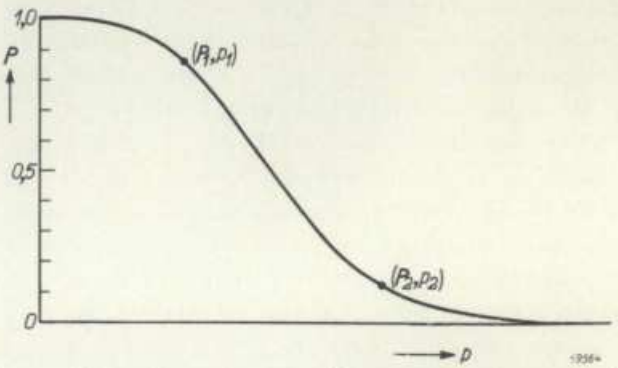


Fig. 8. Illustratie van het gebruik van een parameterstelsel dat op de eisen van producent en afnemer is gericht. Men kiest dan twee punten van de keuringskarakteristiek, gelegen bij van te voren vastgestelde goedkeurkansen P_1 en P_2.

Daarbij schrijft men dan de goedkeurkansen P_1 en P_2 blijvend voor, bijv. $P_1 = 0{,}90$ en $P_2 = 0{,}10$, terwijl men de bijbehorende foutenpercentages $p_{0,90}$ en $p_{0,10}$ als variabele parameters opvat welke de kromme bepalen. Aan de producent kan dan worden gegarandeerd dat van partijen met een foutenpercentage $p_{0,90}$ gemiddeld niet meer dan 10% zal worden afgekeurd, en aan de afnemer kan worden gegarandeerd dat van partijen met $p_{0,10}$ % fouten gemiddeld niet meer dan 10% zal worden goedgekeurd. Deze parameters heeft men daarom de 1 op 10 risicogrenzen respectievelijk van producent en afnemer genoemd. Om van een steekproefschema waarvan als parameters de 1 op 10 risicogrenzen zijn gegeven, de fundamentele parameters p_0 en h_0 te berekenen, kan met succes een grafische methode worden toegepast. Voor nadere bijzonderheden hierover verwijzen wij naar het aanhangsel.

We vermelden nog dat de specificatie van de keuringskarakteristiek door middel van twee punten is toegepast door Wald en Barnard bij de beschrijving van het onbepaalde systeem (zie noot [3])), terwijl door Enters [9]) een nomogram werd geconstrueerd voor het enkelvoudige steekproefsysteem, waardoor in wezen hetzelfde wordt gepresteerd als door de genoemde grafische methode.

[7]) J. H. Enters, T. Eff. Doc. **18**, 262-266, 1948 (No. 11).
[8]) J. H. Enters en H. C. Hamaker, nog niet gepubliceerd.

[9]) J. H. Enters, De omvang van de steekproef bij een enkelvoudig steekproefsysteem, Statistica **1**, 228-234, 1948.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In de tijdens de oorlog in Amerika ontwikkelde „Army Service Forces Tables", die, zij het met kleine wijzigingen, werden overgenomen door de „Statistical Research Group, Columbia University" (zie de in [6]) genoemde tabellen, en het in [2]) aangehaalde werk van E. L. Grant), heeft men als één van de fundamentele parameters de steekproefgrootte ingevoerd en daarnaast slechts één punt op de keuringskarakteristiek vastgelegd. Hiertoe werd gekozen de risicogrens van de producent behorende bij een risico van 95%. Ook als deze parameters gegeven zijn, kan men gemakkelijk de waarden der fundamentele parameters p_0 en h_0 grafisch afleiden, zoals in het aanhangsel wordt beschreven.

Nog een andere parameter die veel wordt gebruikt en reeds in de oudste steekproeftabel van Dodge en Romig werd toegepast, is de zogenaamde bovengrens van het gemiddeld doorgelaten uitvalpercentage (average outgoing quality limit). Tot deze grootheid komt men door de volgende redenering.

Laten we eens onderstellen, ten eerste, dat alle te keuren partijen eenzelfde foutenpercentage p bevatten, en ten tweede, dat afgekeurde partijen aan een 100% keuring worden onderworpen en dan vrij van fouten aan de afnemer worden afgeleverd.

Zij P de goedkeurkans die bij het foutenpercentage p behoort, dan zal gemiddeld een fractie P der partijen worden goedgekeurd en een fractie $(1-P)$ worden afgekeurd.

Het gemiddelde foutenpercentage in de afgeleverde partijen is dan

$$p \cdot P + 0 \cdot (1 - P) = p \cdot P.$$

Dit gemiddelde is dus gelijk aan de gearceerde oppervlakte in *figuur 9*. We zien nu terstond, dat indien we het foutenpercentage p variëren, het gemiddeld doorgelaten uitvalpercentage door een maximum gaat; dit wordt bereikt wanneer de diagonaal AC van de gearceerde rechthoek evenwijdig loopt aan de raaklijn aan de karakteristiek in punt B. Deze maximale waarde noemt men de bovengrens van het gemiddeld doorgelaten uitvalpercentage, die we verder kortheidshalve zullen aanduiden als $\bar{p}_{max}$ of als „bovengrens".

Aan de afnemer kan worden gegarandeerd, dat onder de denkbaar ongunstigste omstandigheden, welke practisch nooit zullen voorkomen, het gemiddeld uitvalpercentage in de partijen welke hij ontvangt $\bar{p}_{max}$ niet zal overschrijden.

In het aanhangsel wordt beschreven, hoe men $\bar{p}_{max}$ voor een gegeven steekproefschema kan berekenen.

De keuze van een stelsel parameters

De voornaamste parameterstelsels die in de loop van de tijd in omloop zijn gebracht, hebben we hiermede besproken. Welk van deze systemen in de practijk het best zal voldoen, is moeilijk te zeggen; dit zal in vele gevallen van de omstandigheden en van de persoonlijke smaak afhangen.

Eén algemene richtlijn laat zich aangeven, namelijk deze, dat de keuringskarakteristiek voldoende wordt bepaald door slechts twee parameters, terwijl we in de practijk drie meesters hebben te dienen; de producent, de afnemer, en de controlerende instantie. Weliswaar zal deze laatste veelal onder een van de eersten ressorteren, doch de controlerende instantie beschikt doorgaans over een beperkt personeel; derhalve heeft de controleur wat de steekproefgrootte betreft wel degelijk een zelfstandige stem in het kapittel. Wanneer we nu bijvoorbeeld de risicogrenzen van producent en afnemer tot parameters kiezen, dan is het duidelijk dat de eerste geneigd zal zijn $p_{0,90}$ zo groot mogelijk te kiezen, terwijl de laatste zijnerzijds zal trachten voor $p_{0,10}$ een zo klein mogelijke waarde voor te schrijven. Dit kan er zeer gemakkelijk toe leiden dat men gedrongen wordt in de richting van onnodig steile karakteristieken, die meer waarnemingen verlangen dan de controleur kan aanvaarden.

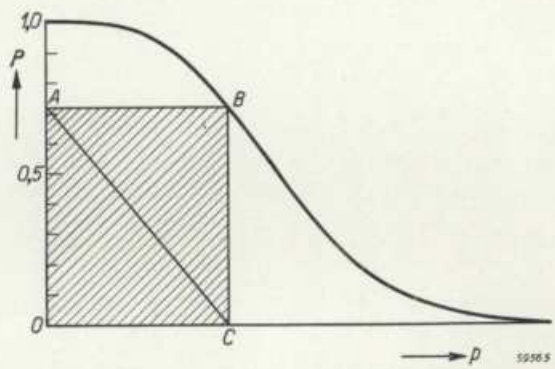


Fig. 9. Illustratie van het begrip „bovengrens van het gemiddeld doorgelaten uitvalpercentage".

Kiezen we anderzijds, als in sommige van de tabellen van Dodge en Romig, de bovengrens en de risicogrens van de afnemer tot parameters, dan gebruiken we twee grootheden die beide in hoofdzaak op de belangen van de afnemer zijn gericht, zodat men zowel met producent als controleur in conflict kan komen. Een dergelijke keuze schijnt niet raadzaam.

In de tabellen van de Statistical Research Group, Columbia University, heeft men ten slotte de risicogrens van de producent en de steek-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

proefgrootte tot leidmotief gekozen en het valt op, dat in de tekst die dit systeem begeleidt inderdaad zeer weinig aandacht wordt besteed aan de belangen van de afnemer.

Van dit standpunt uit bezien, verdient het gebruik van het contrôlepunt wellicht aanbeveling. Als de producent en de afnemer beiden hun risicogrenzen vaststellen, bijv. op 2 en 5%, ligt het voor de hand dat het contrôlepunt daar midden tussenin moet liggen, dus bij 3,5%. Door deze keuze houden we in zekere mate met beider eisen rekening, terwijl we dan nog in de keuze van de helling van de karakteristiek de mogelijkheid open houden aan de verlangens van de controleur te voldoen. Om deze reden zou de schrijver geneigd zijn het contrôlepunt p_0 en de steekproefgrootte n_0 als geschikt parameterstelsel aan te bevelen. De eenvoudige betrekking

$$n_0 p_0 = c_0 + 0{,}67$$

levert ons dan ineens de bijbehorende waarde van c_0, en dus het enkelvoudige schema, terwijl de constructie van een dubbel schema aan de hand van tabel II niet de minste moeilijkheden oplevert.

Wij hopen binnenkort in dit tijdschrift te beschrijven hoe de bovenstaande principes verwerkt zijn in een steekproeftabel, die bij de Nederlandse Philipsbedrijven in gebruik is.

Aanhangsel: Overgang van één parameterstelsel naar een ander

Overgang van de 1 op 10 risicogrenzen naar de fundamentele parameters p_0 en h_0

We hebben gezien dat steekproefschema's met dezelfde relatieve helling h_0 karakteristieken bezitten die door een geschikte aanpassing van de steekproefgrootte vrijwel geheel tot dekking kunnen worden gebracht. Hieruit volgt onmiddellijk dat de verhouding $p_{0,10}/p_{0,90}$ alleen afhankelijk zal zijn van de grootheid h_0, en dit geldt uiteraard eveneens voor de verhouding $p_{0,10}/p_0$ [10]). Zetten we deze beide verhoudingen als functie van h_0 in één figuur uit (*fig. 10*), dan kan met behulp van deze figuur zeer gemakkelijk een overgang van het ene parameterstelsel in het andere worden bewerkstelligd. Zij bijv. gegeven:

$$p_{0,10} = 4{,}5\%, \quad p_{0,90} = 2\%,$$

dan is

$$p_{0,10}/p_{0,90} = 2{,}25.$$

Beginnend in het hiermede corresponderende punt op de verticale as in figuur 10 gaan we nu eerst naar rechts tot we de $p_{0,10}/p_{0,90}$ kromme snijden, en dan van het snijpunt verticaal naar beneden tot we de $p_{0,10}/p_0$ kromme en de horizontale as snijden. Op de horizontale as lezen we af

$$h_0 = 2{,}52,$$

en op de verticale as

$$p_{0,10}/p_0 = 1{,}46, \text{ waaruit volgt } p_0 = 4{,}5/1{,}46 = 3{,}08\%.$$

[10]) In dit verband zou men p_0 beter $p_{0,50}$ kunnen noemen.

Zo zijn dus p_0 en h_0 gevonden en door toepassing van vergelijkingen (7) en (8) vinden we het bijpassend enkelvoudig steekproefsysteem

$$c_0 = 9{,}25; \quad n_0 = 322,$$

hetgeen we natuurlijk in de practijk op

$$c_0 = 9; \quad n_0 = 320$$

afronden. Zo we een dubbel schema wensen, geeft tabel II het schema $D(2; 2, 10, 10)$ met $n_1 = 3{,}78/0{,}0146 = 260$ als de best passende combinatie.

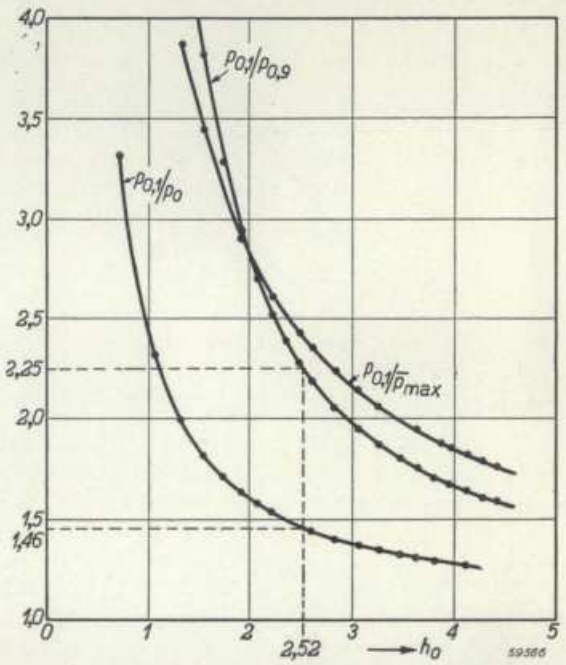


Fig. 10. Grafiek die het mogelijk maakt de verschillende parameterstelsels op elkaar te herleiden. De gestippelde lijnen geven aan, hoe voor een steekproefschema welks parameterwaarden $p_{0,10}$ en $p_{0,90}$ bekend zijn, de parameterwaarden p_0 en h_0 gevonden kunnen worden.

Overgang van de parameters n_0 en $p_{0,95}$ naar de fundamentele parameters p_0 en h_0

Het product $n_0 p_0$ voor een enkelvoudig steekproefschema is weer een functie van h_0 alleen; dit is eveneens het geval met de verhouding $p_{0,95}/p_0$. Dus ook het product $n_0 p_{0,95}$ hangt alleen van h_0 af. Zetten we de beide producten $n_0 p_0$ en $n_0 p_{0,95}$ tezamen in één figuur uit (*fig. 11*), dan kunnen we met behulp van deze grafiek het gestelde doel weer op eenvoudige wijze bereiken. Stel bijv. dat we een steekproefschema zoeken met

$$p_{0,95} = 2\% = 0{,}02 \quad \text{en} \quad n_0 = 130,$$

dan is $n_0 p_{0,95} = 2{,}6$. Uitgaande van het corresponderende punt op de verticale as van figuur 11 wandelen we nu op soortgelijke wijze door deze figuur als we in figuur 10 hebben gedaan (zie de pijltjes). We vinden dan

$$h_0 = 1{,}90 \text{ en } n_0 p_0 = 5{,}60; \text{ dus } p_0 = 5{,}60/130 = 0{,}043, \text{ en}$$
$$c_0 = 5{,}60 - 0{,}67 = 4{,}93 \approx 5.$$

Daarmede is het gezochte schema gevonden, althans het enkelvoudige steekproefschema. Wil men een dubbel schema gebruiken, dan zal men met een benadering genoegen moeten nemen, omdat de gemiddelde steekproefgrootte van een dubbel schema afhankelijk is van het foutenpercentage in de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

te keuren partijen, en dus afhankelijk is van de omstandigheden waaronder het schema wordt toegepast. We kunnen echter gebruik maken van het reeds geconstateerde feit dat globaal een dubbel steekproefschema een 30% besparing geeft in het aantal waarnemingen. Een dubbel schema met een gemiddeld aantal waarnemingen van 130 per partij zal dus overeenkomen met een enkelvoudig schema met een

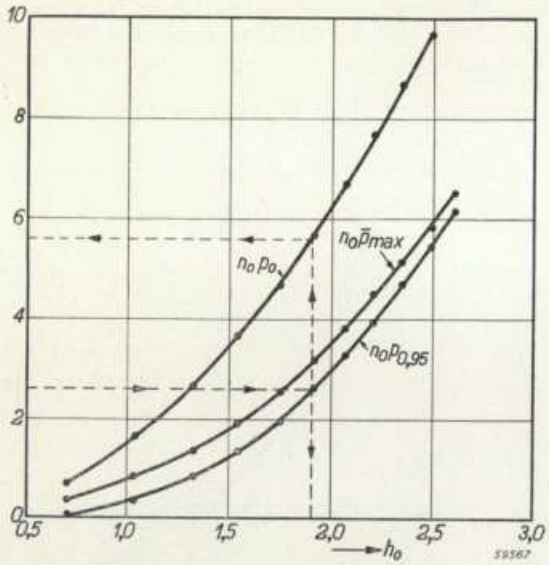


Fig. 11. Als fig. 10. De pijlen geven aan, hoe men uit de parameterwaarden n_0 en $p_{0,95}$, h_0 kan vinden.

steekproefgrootte van ongeveer $(100/70) \times 130 = 185$. Bij $p_{0,95} = 2\% = 0{,}02$ en $n_0 = 185$ vinden we nu op precies dezelfde wijze $h_0 = 2{,}16$, $p_0 = 4{,}00\%$. Tabel II geeft dan het dubbele schema $D(2;1{,}7{,}7)$ met $n_1 = 2{,}71/0{,}04 = 68$ als de meest geschikte keuze.

Berekening van $\bar{p}_{max}$ voor een gegeven steekproefschema

In analogie aan het voorafgaande kunnen we weer onmiddellijk besluiten dat verhoudingen als bijvoorbeeld $p_{0,10}/\bar{p}_{max}$ of $p_0/\bar{p}_{max}$ functies zijn van h_0 alleen, en dat hetzelfde zal gelden voor het product $n_0\bar{p}_{max}$ bij een enkelvoudig schema. Dit product en de eerste der genoemde verhoudingen zijn eveneens in de figuren 11 en 10 uitgezet, en met behulp van deze krommen kunnen we nu $\bar{p}_{max}$ voor een willekeurig schema berekenen.

Gevraagd bijv. $\bar{p}_{max}$ voor een enkelvoudig schema met $n_0 = 130$ en $c_0 = 8$. Vergelijking (8) geeft ons dan $h_0 = 2{,}36$ en fig. 11 hierbij $n_0\bar{p}_{max} = 5{,}23$; dus wordt $\bar{p}_{max} = 5{,}23/130 = 0{,}04$, juist dezelfde waarde als opgegeven in de tabellen van Dodge en Romig [6]). Onderzoeken we op dezelfde wijze het schema $n_0 = 670$, $c_0 = 3$ dan vinden we $\bar{p}_{max} = 0{,}0025$, terwijl Dodge en Romig een waarde 0,0029 geven, een verschil dat voor de practijk geen betekenis heeft.

Omgekeerd vinden we in de dubbele steekproeftabellen van Dodge en Romig, dat bij het dubbele schema $n_1 = 150$, $n_2 = 350$, $c_1 = 1$, $c_2 = c_3 = 9$, de waarden $p_{0,10} = 0{,}03$ en $\bar{p}_{max} = 0{,}011$ behoren. Dan is dus $p_{0,10}/\bar{p}_{max} = 2{,}7$ en we vinden met behulp van fig. 10 : $h_0 = 2{,}08$ en $p_{0,10}/p_0 = 1{,}58$, dus $p_0 = 0{,}03/1{,}58 = 0{,}019$.

Dit is de eenvoudigste weg om uit de gegevens van Dodge en Romig de bij hun steekproefschema's behorende waarden van p_0 en h_0 af te leiden.

Samenvatting. Uitgaande van de formules van Poisson worden allereerst de formules gegeven waarvan verderop voor de numerieke uitwerking van de theorie der steekproefschema's gebruik wordt gemaakt. Als fundamentele parameters ter bepaling van de keuringskarakteristiek van een steekproefschema worden ingevoerd het contrôlepunt en de relatieve helling. Voor enkelvoudige schema's wordt het verband tussen deze parameters enerzijds en de steekproefgrootte en het criterium anderzijds gegeven door twee zeer eenvoudige vergelijkingen ((7) en (8)) die aan de hand van een tabel (tabel I) nader worden toegelicht. De karakteristieken van dubbele schema's en enkelvoudige schema's blijken vrijwel volkomen samen te vallen, indien beide dezelfde waarden der fundamentele parameters bezitten; dergelijke schema's zullen in de practijk gelijke keuringsresultaten geven. Door de steekproefgrootte van een dubbel schema te vergelijken met de steekproefgrootte van een gelijkwaardig enkelvoudig schema komt men tot het begrip inverse efficientie, waardoor de besparing in het aantal waarnemingen, bereikbaar met een dubbel steekproefschema, wordt gemeten. Behandeld wordt hoe de inverse efficientie afhangt van het schermendiagram van een dubbel schema. Op grond van deze beschouwingen worden gegevens afgeleid waarmede men een dubbel steekproefschema kan construeren, wanneer de fundamentele parameters gegeven zijn.

In het kort wordt besproken hoe ook het onbepaalde steekproefschema in deze beschouwingswijze kan worden opgenomen.

Vervolgens wordt de samenhang nagegaan tussen de bovenomschreven parameters en de parameterstelsels die in de practijk door anderen zijn toegepast, zoals de risicogrenzen van producent en afnemer, of de bovengrens van het gemiddeld doorgelaten uitvalpercentage. Dit geeft aanleiding tot een bespreking van de vraag welke parameters in de practijk het beste zullen voldoen; de aangevoerde argumenten leiden tot de conclusie dat steekproefgrootte en contrôlepunt tezamen in dit opzicht aanbeveling verdienen. In het aanhangsel worden eenvoudige methoden beschreven, om van één parameterstelsel op een ander over te gaan.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

HET GELEIDINGSVERMOGEN VAN DE OXYDEKATHODE

door R. LOOSJES en H. J. VINK.

537.311.33:621.315.592.4:
621.3.032.216

Uit de ontdekking van de electronenemissie van de oxyden der aardalkalimetalen ontwikkelde zich de moderne oxydekathode, die op het gebied der electronica uitgebreide toepassing vindt, bijvoorbeeld in radiobuizen, in kathodestraalbuizen en in gasontladingslampen. In het emissieproces van deze kathode treedt als essentiële schakel een electronengeleiding dwars door de oxydelaag op. Enkele nieuwe proeven en overwegingen omtrent het wezen van deze geleiding hebben het mogelijk gemaakt het gedrag van de oxydekathode onder diverse omstandigheden beter te begrijpen dan tot nu toe het geval was.

Inleiding

In 1903 ontdekte Wehnelt dat een gloeiend platina bandje waarop een kleine hoeveelheid calciumoxyde is aangebracht, ter plaatse van het oxyde reeds een krachtige electronenemissie vertoont bij temperaturen waarbij de electronenemissie van het metaal zelf nog geheel te verwaarlozen is. Uit deze ontdekking ontwikkelde zich in de loop van de tijd de moderne oxydekathode, zoals die bijvoorbeeld in de meeste radiobuizen wordt toegepast. Hierbij bevindt zich een poreuze gesinterde laag van mengkristallen van barium- en strontiumoxyde, ter dikte van 10-100 μ, op een onderlaag van metaal. De zg. indirect verhitte kathode heeft de vorm van een nikkelen buisje, op de buitenzijde waarvan het oxyde is aangebracht, terwijl zich aan de binnenzijde een verwarmingselement (wolfraamdraad omgeven met isolerende laag) bevindt. Door middel van dit verwarmingselement wordt het buisje op 1000 °K tot 1100 °K verhit, waarbij het oxyde een krachtige electronenemissie vertoont, indien de kathode op een negatieve electrische potentiaal ten opzichte van een opvangelectrode (anode) wordt gebracht.

Een goede oxydekathode heeft bij de genoemde temperaturen een electronenemissie (verzadigingsstroom) van de orde van 1 A/cm². De electronen die door de emissie de laag verlaten, worden uit de metalen onderlaag aangevuld. Hieruit volgt dat de oxydelaag zelf de electronen moet kunnen geleiden. Het is de bedoeling van dit artikel deze geleiding nader te bekijken, mede aan de hand van experimentele onderzoekingen.

Het praepareren van de oxydelaag

Zoals reeds is opgemerkt, gebruikt men bij indirect verhitte kathoden als onderlaag voor de oxydelaag een buisje van nikkel. Om redenen die verderop duidelijk zullen worden, neemt men hiervoor geen zuiver nikkel, maar een legering waarbij aan het nikkel geringe hoeveelheden van een gemakkelijk oxydeerbaar metaal (Mg, Si, Mn, Al, Ti) zijn toegevoegd. Men begint met op het metaal een laagje aan te brengen, bestaande uit carbonaten van aardalkalimetalen (barium, strontium). Deze carbonaten kunnen bijvoorbeeld verkregen worden door ze uit een waterige oplossing der overeenkomstige nitraten of hydroxyden met ammoniumcarbonaat neer te slaan. Na uitwassen en drogen wordt de stof in een kogelmolen gedurende vele uren gemalen, tezamen met een oplossing van een zg. binder (bijv. nitrocellulose, die opgelost is in een vluchtig organisch oplosmiddel). De aldus verkregen melkwitte suspensie (deeltjesgrootte 2-10 μ) wordt bijv. door middel van een verfspuit op de metalen onderlaag gebracht. Het oplosmiddel verdampt hierbij zeer snel, zodat op het metaal een poreuze laag van carbonaatkristalletjes overblijft, die door de binder op de onderlaag en tegen elkaar gekit zijn.

De kathode wordt nu in de buis gemonteerd en vervolgens, in vacuum, op 1100-1400 °K verhit, waarbij eerst de binder verkoolt en daarna het carbonaat in oxyde en koolzuur uiteenvalt. Het vrijkomende koolzuur oxydeert de koolstof van de binder tot koolmonoxyde. De gasvormige producten worden weggepompt, zodat een laag van zuiver oxyde overblijft.

Tijdens het verhitten sintert de oxydelaag enigszins samen en hecht zich voldoende vast op de onderlaag. Het ontleden van de carbonaatkristalletjes vereist veel zorg. Het mag niet te snel en niet bij te hoge temperatuur gebeuren. Wordt hierop niet gelet, dan kan het gebeuren dat de oxydelaag geheel „dichtsintert" en niet meer poreus is. De ervaring heeft geleerd dat dit fataal is voor de emissie. Alleen een poreuze laag (porositeit 50-60 %) geeft een goede emissie. Als materiaal voor de oxydelaag kiest men mengkristallen van BaO en SrO (1 mol BaO op 1 mol SrO), omdat gebleken is dat dit materiaal de beste emissie-eigenschappen heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Het activeren van de kathode

De op de beschreven wijze verkregen laag van aardalkalioxyden op een metalen onderlaag is nog niet direct in staat de gewenste grote electronenemissie te leveren. Hiervoor moet de kathode eerst nog „geactiveerd" worden. Dit activeren geschiedt meestal als volgt. De kathode wordt gegloeid op 1100-1250 °K terwijl aan de anode een positieve spanning van enkele tientallen volts ten opzichte van de kathode wordt gelegd. De emissiestroom, die direct na het aanleggen van de spanning nog zeer gering is, neemt eerst langzaam en daarna sneller toe. Ten slotte moet men de temperatuur van de kathode en de anodespanning dan ook gaan verminderen om het optreden van zeer hoge emissiestromen tegen te gaan, aangezien deze een nadelige invloed blijken te hebben. Na enkele minuten is de toestand stationnair geworden en is een kathode verkregen die bij een temperatuur van 1000-1100 °K een continue emissie kan geven van 10^3-10^4 A/m² (0,1-1 A/cm²) en bij kortstondige emissie (10^{-4} sec) zelfs verzadigingsstromen van $2 \cdot 10^4$-10^5 A/m².

Hoewel voor een goede activering het emitteren meestal noodzakelijk is, is het soms mogelijk de kathode te activeren zonder een spanning aan te leggen, dus zonder dat een emissiestroom optreedt. Dit is in het bijzonder het geval wanneer de onderlaag de boven reeds genoemde reducerende materialen (zoals Si en Mg) bevat. Men kan dan een volledige activering bereiken alleen al door de kathode in vacuum op een hoge temperatuur (1100-1200 °K) te verhitten.

Dit wijst er op dat een gedeeltelijke reductie van het oxyde noodzakelijk is voor het activeren. Het is gebleken dat ten gevolge van deze reductie de laag van BaO-SrO mengkristallen een zekere hoeveelheid vrij barium gaat bevatten. Bij het boven beschreven activeren door „stroom trekken" wordt dit barium vrijgemaakt door electrolyse van de oxydelaag, waarbij Ba^{2+}-ionen zich in de richting van de metalen onderlaag begeven en O^{2-}-ionen in tegengestelde richting. De zuurstofionen zullen ten slotte als vrij O_2 de laag verlaten en de Ba^{2+}-ionen zullen eveneens geneutraliseerd worden, zodat er ten slotte een hoeveelheid vrij barium in de oxydelaag overblijft.

De hoeveelheden barium waarom het hier gaat zijn zeer gering (van de orde van 0,01 %). Dit vrije barium is niettemin van essentiële betekenis voor de emissie. Zodra namelijk de hoeveelheid barium verminderd wordt, bijv. door kortstondig verhogen van de temperatuur, waarbij verdamping van het barium plaats heeft, of door chemische omzetting (verhitting in een gasatmosfeer die sporen O_2, Cl_2 of H_2O bevat), gaat de emissie sterk achteruit. Door het inbrengen van nieuw vrij barium, bijv. door opdampen, stijgt de emissie weer.

De electronenemissie van een goed geactiveerde oxydekathode hangt natuurlijk nog sterk af van de temperatuur. In analogie met het geval van de electronenemissie der metalen (zoals wolfraam), waarvoor de formule van Richardson geldt:

$$J_s = A\, T^2 \exp\,(-e\varphi/kT) \quad . \; . \; . \quad (1)$$

of [1]):

$$\log J_s - 2 \log T = \log A - 0{,}434\,(e\varphi/k)\,\frac{1}{T}, \quad (2)$$

waarin A een universele constante voorstelt ($= 1{,}2 \cdot 10^5$ A/m² °K²) en φ de zg. uittreepotentiaal, welke bijv. voor wolfraam 4,5 V bedraagt ($e\varphi$ is de uittree-arbeid, d.i. de arbeid die vereist wordt om een electron uit het metaal in vacuum te brengen), zet men bij een oxydekathode $\log J_s - 2 \log T$ uit tegen $1/T$. Men vindt dan een rechte lijn

$$\log J_s - 2 \log T = \log A' - B/T. \quad . \; . \quad (3)$$

Vervangt men nu B door

$$0{,}434\, e\, \varphi'/k\,, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

dan vindt men de grootheid φ', die ook in dit geval uittreepotentiaal wordt genoemd. Voor een goed geactiveerde oxydekathode ligt φ' tussen 0,9 en 1,1 V.

Bij de emissie verlaten electronen de oxydelaag. Dit verlies aan electronen wordt in de stationnaire toestand gecompenseerd doordat electronen uit de metalen onderlaag in de oxydelaag treden. Het is duidelijk dat een voortdurende electronenemissie slechts mogelijk is indien men aanneemt dat de laatstgenoemde electronen zich door de laag heen naar het vacuum kunnen begeven, met andere woorden: indien de oxydelaag de electronen geleidt.

De oxydelaag als halfgeleider

Op het eerste gezicht kan het wellicht verwonderlijk schijnen dat een laag (Ba,Sr)O electronen geleidt. Deze laag bestaat immers uit doorzichtige oxydekristallen en het is bekend dat dergelijke niet-metallische stoffen zich in het algemeen gedragen als volkomen isolatoren.

Men zou geneigd zijn in dit verband in de eerste plaats te denken aan electrolytische geleiding. Inderdaad vertonen de oxyden bij voldoend hoge temperatuur het verschijnsel der electrolyse. Wij hebben boven immers reeds gezien dat bij het

[1]) Met log wordt bedoeld de logarithme met grondtal 10.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

activeringsproces electrolyse een rol speelt. Echter is de ionengeleiding veel te klein om de waargenomen emissiestromen te verklaren en zeker bij de betrekkelijk lage temperatuur (1000-1100 °K) waarbij de kathode ten slotte wordt gebruikt. Men kan schatten dat voor een volledig geactiveerde kathode bij die temperatuur de ionenstroom slechts 0,001 % van de totale stroom door de oxydelaag is, zodat ionengeleiding in het vervolg buiten beschouwing kan blijven.

Het is echter bekend dat slechts volmaakt zuivere kristallen van stoechiometrische samenstelling goede isolatoren zijn; onvolmaakte kristallen, die op een of andere wijze verontreinigd zijn, bijv. doordat ze vreemde atomen of een overmaat van een der samenstellende atomen bevatten, vertonen wel geleiding; het zijn zg. electronen-halfgeleiders.

Het geleidingsvermogen γ van een electronen-halfgeleider hangt sterk van de temperatuur af. Een halfgeleider die slechts één soort verontreinigingen bevat, gehoorzaamt aan een formule van de gedaante

$$\gamma = K \exp(-E/kT), \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

waarin E een constante met de dimensie van een energie voorstelt en waarin K eveneens een constante is, die echter afhangt van de hoeveelheid van de verontreiniging. Zet men voor een dergelijk materiaal log γ tegen $1/T$ uit, dan vindt men dus een rechte lijn, uit de helling waarvan men de energieconstante E kan afleiden. Experimenteel is gebleken dat E ook een weinig afhankelijk is van de hoeveelheid van de verontreiniging, en wel zo dat E met toenemende verontreiniging kleiner wordt. Soms treden meer dan één verontreiniging tegelijkertijd op. Heeft men bijv. met twee soorten verontreinigingen te doen, dan voldoet γ aan een formule van de gedaante

$$\gamma = K_1 \exp(-E_1/kT) + K_2 \exp(-E_2/kT). \quad (6)$$

Zet men hier wederom log γ tegen $1/T$ uit, dan vindt men een kromme als in *fig. 1* is afgebeeld. Uit de helling van de beide rechte stukken kan men E_1 en E_2 afleiden.

Theorie der electronen-halfgeleiders

Wij zullen de geleiding en de electronenemissie der electronen-halfgeleiders nog iets nader beschouwen. Volgens de moderne atoomtheorie (quantumtheorie) kunnen electronen in het periodieke veld van het kristalrooster niet alle mogelijke energieën bezitten. Integendeel, de mogelijke energieniveaus zijn beperkt tot zg. energiebanden, terwijl de tussengelegen energiewaarden verboden zijn[2]). In een kristal zijn altijd een deel der mogelijke energieniveaus met electronen bezet, een ander deel niet. De banden met laagste energie zijn in de regel „gevuld", terwijl hogere banden „leeg" zijn. Tussen de volle en de lege banden komt soms nog een half gevulde band voor. Dit is het geval

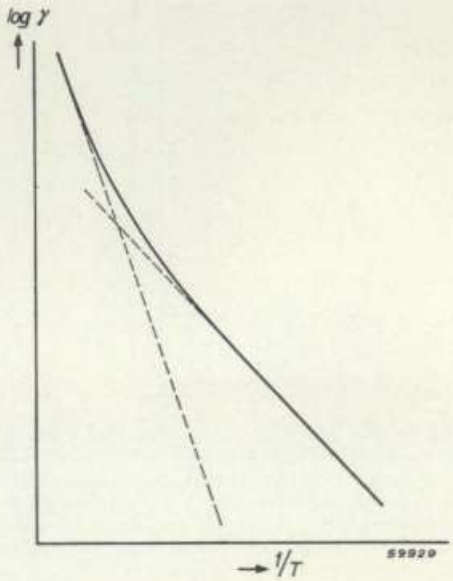


Fig. 1. De logarithme van het geleidingsvermogen γ als functie van $1/T$, voor een halfgeleider waarvoor geldt:

$$\gamma = K_1 \exp(-E_1/kT) + K_2 \exp(-E_2/kT)$$

(getrokken lijn). De twee stippellijnen beantwoorden aan de afzonderlijke termen.

bij de metalen, die daaraan hun geleidingsvermogen danken, daar in dit geval ten koste van zeer weinig energie, te ontlenen aan een uitwendig veld, electronen in de half volle band op een hoger niveau in die band kunnen worden gebracht, hetgeen beduidt dat een electrische stroom door het metaal loopt.

Wordt een geheel volle band gevolgd door een geheel lege band, dan is de stof een isolator, omdat nu niet ten koste van weinig energie electronen op een hoger energieniveau, dwz. in de lege band, kunnen worden gebracht. Wel is dit mogelijk als zich tussen de volle en de lege band nog gedeeltelijk bezette extra niveaus bevinden, zoals het geval is bij de bovenvermelde kristallen met vreemde atomen, of, in het geval van de oxydelaag, met een overmaat barium. Deze extra energieniveaus bevinden zich meestal op geringe afstand E_0 (van de orde van 1 à 2 eV) onder de lege band (*fig. 2*). Het is nu mogelijk dat, onder invloed van de warmtebeweging, electronen uit de extra niveaus in de

[2]) Zie bijv.: E. J. W. Verwey, Electronengeleiding in niet-metallische stoffen, Philips techn. T. **9**, 47-54, 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lege band worden geheven en tot geleidingselectronen worden. Als N het aantal (bij $T = 0$ °K en per volume-eenheid) door electronen bezette extra niveaus is, dan levert de theorie voor het aantal

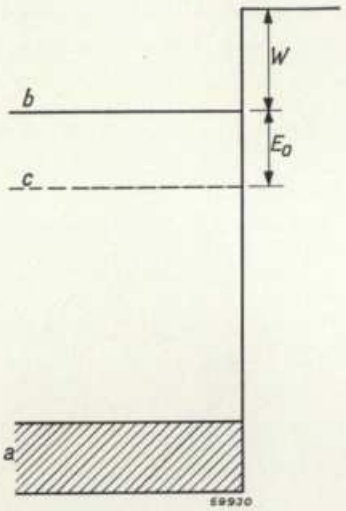


Fig. 2. Energiebanden en extra niveaus van een electronen-halfgeleider met overschot metaalatomen. a is de volle band. E_0 is de afstand tussen de smalle band van extra niveaus (c) en het onderste niveau van de lege band (b). In de theorie speelt de grootheid $E_0/2$ een belangrijke rol. W is de afstand van het onderste niveau van de lege band tot het nulniveau (vacuum).

electronen per volume-eenheid (n) in de lege band, bij de temperatuur T:

$$n = 2\,N^{\frac{1}{2}} \cdot \left(\frac{2\pi mkT}{h^2}\right)^{3/4} \exp\left(-\frac{E_0}{2kT}\right), \quad . \quad (7)$$

waarin m de electronenmassa ($9 \cdot 10^{-31}$ kg) en h de constante van Planck ($6{,}6 \cdot 10^{-34}$ W sec^2) voorstelt.

Voor het geleidingsvermogen vindt men:

$$\gamma = b\,n\,e, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

waarin de grootheid b, de bewegelijkheid der geleidingselectronen, als een van de temperatuur onafhankelijke constante mag worden beschouwd. Zet men in een zeker, niet te groot, temperatuurgebied log γ als functie van $1/T$ uit, dan vindt men, daar de term met $T^{3/4}$ dan slechts geringe invloed heeft vergeleken met de e-functie, een rechte lijn. In dit gebied is γ dus voor te stellen door de functie

$$\gamma = K \exp\,(-E/kT), \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

waarbij E slechts weinig zal verschillen van $E_0/2$.

Een halfgeleider kan ook electronen emitteren. De bovenstaande theorie is in staat hiervan rekenschap te geven en kan daarmee de emissie-eigenschappen van de oxydekathode beschrijven. Voor een electronenemissie moet niet alleen de energie worden overwonnen die de electronen in de extra niveaus scheidt van de onderzijde van de lege energieband, maar bovendien het energieverschil W tussen het onderste lege energieniveau en het „nul-niveau" (overeenkomend met een electron met snelheid nul in het vacuum). Voor de electronenemissie van de halfgeleider vindt men theoretisch de formule

$$J_s = cne\left(\frac{kT}{m}\right)^{\frac{1}{2}} \exp\,(-W/kT), \quad . \quad . \quad (10)$$

waarin c een numerieke constante voorstelt, nl. $(2/\pi^3)^{1/4}$. Uit formules (10) en (7) volgt dat $e\varphi'$ (zie (4)) weinig verschilt van $\frac{1}{2}E_0 + W$.

Experimenteel onderzoek der geleiding

In het volgende willen wij nu nagaan of de geleiding van de oxydelaag verklaard kan worden uit hetgeen over electronen-halfgeleiders bekend is. Uit de resultaten van het te beschrijven experimenteel onderzoek zal blijken dat dit niet geheel het geval is.

Over het geleidingsvermogen van de oxydelaag zijn reeds vele onderzoekingen verricht. Echter was men tot nu toe niet in staat uit de verkregen gegevens een samenhangend beeld af te leiden. Wel was komen vast te staan, dat men in de oxydekathode bijna uitsluitend met electronengeleiding te maken heeft.

Bij het onderzoek over deze geleiding dat in het Philipslaboratorium te Eindhoven werd verricht, werd uitgegaan van een kathode zoals gebruikt wordt in kathodestraalbuizen. Deze bestaat uit een hol, aan één zijde gesloten cylindertje (16 mm × 8 mm) van nikkel. In de holte bevindt zich een verhittingselement. De laag Ba-Sr-carbonaat ter dikte van 50 μ is aangebracht op de vlakke buitenzijde van het gesloten uiteinde. Twee van dergelijke kathoden, met zo vlak mogelijk gespoten maar overigens normale laag, werden met de carbonaatlagen tegen elkaar gedrukt (*fig. 3*) en door veren in die stand gehouden. Tussen de metalen cylinders ontstaat aldus een carbonaatlaag van $2 \cdot 50 = 100$ μ dikte, die door middel van de twee gloeidraden homogeen verhit kan worden. De temperatuur werd daarbij gemeten met behulp van chromel-alumel thermo-elementen.

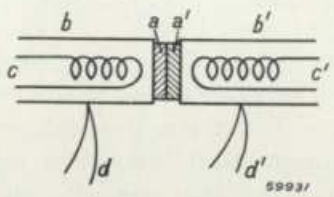


Fig. 3. Opstelling gebruikt bij de meting van het geleidingsvermogen: aa' de beide oxydelagen, bb' nikkelen busjes, cc' gloeidraden, dd' thermo-elementen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De zo tegen elkaar gedrukte kathoden waren in een glazen ballon gemonteerd, die aan een hoogvacuumpomp was aangesloten. Natuurlijk werden de ballon en de daarin gemonteerde kathoden aan een grondig ontgassingsproces onderworpen, zodat ten slotte, na het ontleden der carbonaten en het ontgassen van de gehele opstelling, de ballon met een vacuum van 10^{-5} mm Hg afgesmolten kon worden. Om het vacuum nog te verbeteren en te handhaven, was, even vóór het afsmelten, een hoeveelheid barium als vangstof (getter) verdampt, waarbij er op gelet werd dat dit barium de kathode niet bereikte.

De onderlaag van de kathode bestaat uit gewoon „kathodenikkel", dat Mg en Si bevat, zodat de oxydelaag thermisch kon worden geactiveerd. Door dit bij betrekkelijk lage temperaturen te doen, was het mogelijk het activeringsproces over vele uren uit te strekken. Daardoor kon dit proces op elk ogenblik worden onderbroken en konden metingen in opeenvolgende stadia van activering worden verricht. Gemeten werd het geleidingsvermogen van de ca 100 μ dikke oxydelaag, in verschillende stadia van activering, als functie van de temperatuur. Deze metingen werden verricht met wisselstroom in een brugschakeling („Philoscoop" [3]). De spanning over de onbekende weerstand was daarbij ongeveer 1 V. In dezelfde activeringstoestand werden vervolgens met behulp van korte stroomstoten stroom-spanningskarakteristieken van de laag opgenomen, waarbij de topwaarde van de spanning ongeveer 10 V bedroeg.

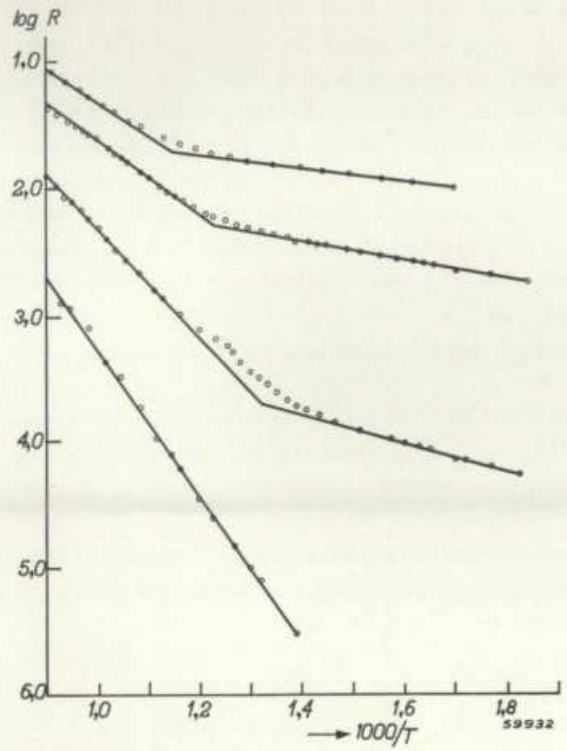


Fig. 4. De logarithme van de weerstand R (—log R is op een constante na gelijk aan log γ) als functie van $1/T$ voor een oxydekathode in opeenvolgende stadia van activering (van onder naar boven).

[3]) Zie Philips techn. T. **2**, 270-275, 1937.

Discussie der meetresultaten

Allereerst zullen de resultaten van de meting van het geleidingsvermogen bij lage spanning worden besproken. In *fig. 4* is voor een bepaalde oxydelaag de logarithme van de weerstand R (— log R is op een constante na gelijk aan log γ) tegen $1/T$ uitgezet voor verschillende opeenvolgende activeringstoestanden. Het is duidelijk dat bij toenemende activering, d.i. bij toenemende hoeveelheid vrij barium in de laag, het geleidingsvermogen toeneemt, en dat de temperatuurafhankelijkheid daarbij daalt. Verder is in *fig. 5* nog eens een dergelijke kromme getekend, waarbij blijkt dat deze kromme duidelijk in drie stukken verdeeld kan worden. Men onderscheidt deel I (600-800 °K) met zwakke afhankelijkheid van de temperatuur, deel II (800-1000 °K) met een sterkere afhankelijkheid van T, terwijl voor deel III (>1000 °K) de afhankelijkheid weer afneemt. Als men even afziet van deel III, dan zou men geneigd zijn het geleidingsmechanisme te verklaren als dat van een halfgeleider waarin twee soorten storende atomen voorkomen, bijv. twee soorten op verschillende wijze in het rooster geplaatste bariumatomen, zodat het geleidingsvermogen door formule (6) kan worden voorgesteld. Dat de helling van de krommen met toenemende activering afneemt, is in overeenstemming met wat vroeger over de afhankelijkheid van E van het aantal storende atomen is meegedeeld. Berekent men op grond van (6) uit de curven de grootheden

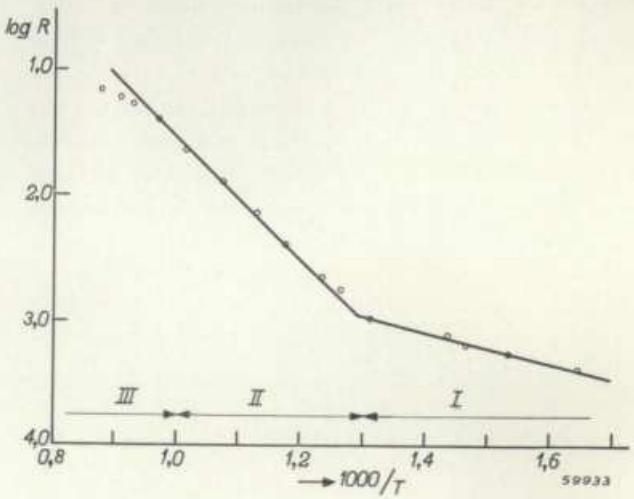


Fig. 5. De logarithme van de weerstand R als functie van $1/T$ voor een oxydekathode. Bij deze kromme komt duidelijk de aanwezigheid der temperatuurgebieden I, II en III tot uiting. De rechte lijnen komen overeen met de stippellijnen in fig. 1.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

E_1 en E_2, dan vindt men voor de opeenvolgende stadia van activering de volgende waarden:

Stadium	1	2	3	4	5	6
E_1	0,22	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09 eV
E_2	0,98	1,14	1,24	0,96	0,96	0,94 eV
$e\varphi'$	1,07	—	1,10	0,90	1,02	0,87 eV

Het valt hierbij op dat, voor alle toestanden, E_2 binnen de grenzen der meetnauwkeurigheid (10%) gelijk is aan de uittree-arbeid $e\varphi'$ in het desbetreffende stadium. Nu is bij onbetwist echte halfgeleiders altijd gevonden dat E aanzienlijk kleiner is dan $e\varphi'$. Daarom is de onderstelling van twee soorten extra niveaus onwaarschijnlijk. Ook kan het optreden van deel *III* der log γ-$1/T$ karakteristiek niet door de halfgeleidertheorie verklaard worden.

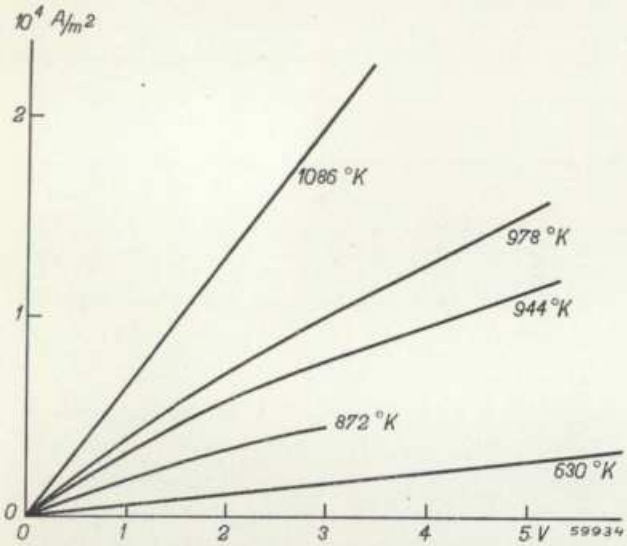


Fig. 6. *J*-*V* karakteristieken van een oxydekathode bij diverse temperaturen. Tussen 800 en 1000 °K zijn de karakteristieken naar de *V*-as toe gekromd.

Iets dergelijks ontmoet men bij het bestuderen der stroom-spanningkarakteristieken. *Fig. 6* geeft daarvan een voorbeeld. Men ziet daaruit dat men bij de *J*-*V* karakteristieken dezelfde temperatuurgebieden kan onderscheiden die reeds bij de log γ-$1/T$ curven een rol speelden. Tot temperaturen van 700 à 800 °K zijn de karakteristieken recht; tussen 800 en 1000 °K zijn ze naar de *V*-as gekromd. Bij 900 °K begint de kromming minder te worden en boven 1000 °K zijn de karakteristieken wederom recht. Nu is het wel mogelijk met electronengeleiding een gekromde *J*-*V* karakteristiek te verklaren. Men moet dan het bestaan van gelijkrichtwerkingen (keerlagen) aan de overgang metaal-oxydelaag aannemen. Het is evenwel uitgesloten te achten dat de electronen van één soort extra niveaus (E_1), waarvan de invloed bij lage temperatuur (<800 °K) overweegt, dit effect niet, en die van een ander soort (E_2), waarvan de invloed bij hogere temperatuur (>800 °K) overweegt, hetzelfde effect wel zouden vertonen. Terwijl er dus niets tegen is om dat gedeelte van het geleidingsvermogen γ dat door de eerste term (de term met E_1) van formule (6) wordt weergegeven, aan echte electronengeleiding toe te schrijven, zullen wij voor het gedrag dat door de tweede term (de term met E_2) wordt weergegeven, een andere verklaring moeten zoeken.

Een nieuwe onderstelling betreffende de oorzaken der geleiding

In het vorige is er reeds de aandacht op gevestigd, dat een goede oxydekathode zeer poreus is en dat een dichtgesinterde, niet-poreuze, kathode slecht emitteert. Het is daarom verwonderlijk dat tot nu toe bij de verklaring van de verschijnselen in de oxydelaag zo weinig met deze porositeit rekening is gehouden. Naar onze mening speelt de geleiding door middel van electronen die in de poriën aanwezig zijn, een grote rol in de waargenomen verschijnselen. Het is niet onredelijk te veronderstellen dat een electronengas van een zekere dichtheid zich in de poriën zal bevinden. Men neemt immers sinds lang aan dat de buitenste korrels van de oxydelaag, door hun emitterend vermogen, in een laag die direct bij het oppervlak van de kathode aansluit, een electronenwolk veroorzaken. Als nu de buitenste korrels dat kunnen doen, waarom dan niet de korrels *in* de laag? De poriën in de laag zullen dus gevuld zijn met een electronengas, dat geleverd is door de electronenwolken van de omringende korrels. Reeds in 1918 onderzocht Von Laue[4]) theoretisch de electronendichtheid in een door electronen emitterende wanden omsloten ruimte. Von Laue bewees dat bij lage temperaturen de dichtheid op dezelfde wijze van de temperatuur afhangt als de emissie. Bij hogere temperaturen, en dus toenemende emissie, neemt ten gevolge van de onderlinge afstoting der electronen de dichtheid van het electronengas in het midden van de holte af vergeleken met de dichtheid vlak bij het emitterende oppervlak. Ten slotte neemt de dichtheid in het midden van de holte nog slechts recht evenredig met de temperatuur toe, terwijl die vlak bij de wand nog steeds volgens dezelfde exponentiële wet toeneemt als de emissie zelf. Wij komen op deze bijzonderheid aanstonds nog terug en putten hier slechts steun

[4]) M. von Laue, Jahrb. Radioaktivität und Elektronik **15**, 205-256, 1918; Ann. Physik **58**, 695-711, 1919.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

uit de beschouwingen van Von Laue voor onze opvattingen omtrent de rol van de poriën bij de geleiding.

Men zal zich de zoëven genoemde poriën niet moeten voorstellen als van elkaar gescheiden holten. Immers dan zouden de electronen, om van holte tot holte verder te komen, altijd weer een halfgeleidende laag moeten passeren. Veeleer zal men zich de holten samenhangend moeten denken, zodat er in het materiaal kronkelige kanalen worden gevormd, die van de metalen onderlaag leiden naar het vrije kathode-oppervlak. Wij zullen nu zien welke consequenties dit heeft voor de geleiding.

In de genoemde kanalen bewegen de electronen met een gemiddelde vrije weglengte l, die van de orde van grootte van de kanaaldoorsnede, dus van de korreldiameter is. Wordt nu een veld F aangelegd, dan ondervinden de electronen (met lading e en massa m) gedurende de tijd t waarin zij hun gemiddelde vrije weg l afleggen, een versnelling

$$a = \frac{eF}{m} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Gedurende deze tijd is de gemiddelde snelheidstoeneming in de veldrichting:

$$\overline{\Delta v} = \frac{eF}{2m}\, t\,.$$

Wij onderscheiden nu twee gevallen:

1) De gemiddelde snelheid $\bar{v}$ is groot vergeleken met $\overline{\Delta v}$. In dit geval is $t = l/\bar{v}$ en dus

$$\overline{\Delta v} = \frac{e}{2}\frac{F}{m}\cdot\frac{l}{\bar{v}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

Daar de snelheidstoeneming na het afleggen van de vrije weglengte vernietigd wordt, stelt $\overline{\Delta v}$ tevens de gemiddelde snelheid van het electron in de richting van het veld voor, zodat we voor de stroomdichtheid vinden:

$$J = n\,e\,\overline{\Delta v} = n\,\frac{e^2F}{2m}\cdot\frac{l}{\bar{v}} \quad \ldots \quad (13)$$

Hierin stelt n het aantal electronen per volume-eenheid voor. Een dergelijke formule is reeds lang geleden door Drude afgeleid om de electronengeleiding van metalen te verklaren. Aangezien J evenredig is met de veldsterkte F, die zelf weer evenredig is met de aangelegde spanning V, levert deze formule een rechtlijnige J-V karakteristiek (wet van Ohm).

2) De gemiddelde snelheid $\bar{v}$ is klein ten opzichte van $\overline{\Delta v}$. Dit is het geval indien l of F voldoende groot zijn. Dan kan men voor t schrijven: $t = l/\overline{\Delta v}$ en dus:

$$\overline{\Delta v} = \sqrt{\frac{eF}{2m}\,l}$$

en

$$J = ne\sqrt{\frac{eF}{2m}\,l} \quad \ldots\ldots \quad (14)$$

Daar F evenredig is met het aangelegde potentiaalverschil, ziet men dat in dit geval de wet van Ohm niet meer doorgaat en dat een parabolische J-V karakteristiek ontstaat, welke naar de V-as toe gekromd is.

Dat wij bij de oxydekathode in dit geval kunnen verkeren, is nog als volgt in te zien. Bij een potentiaalverschil van 10 V over een laag van 100 μ dikte is de toeneming van de kinetische energie per vrije weglengte (van de orde van de korrelgrootte, dus 2-10 μ) 0,2-1 eV. Dit is aanzienlijk groter dan de gemiddelde kinetische energie der warmtebeweging ($^3/_2\,kT$), welke, bij 800 °K, 0,1 eV bedraagt. Dat bij zeer hoge temperaturen (>1000 °K) de karakteristiek weer recht wordt, laat zich verklaren uit de reeds genoemde theorie van Von Laue, volgens welke, ten gevolge van de ruimtelading, de electronen uit het midden van de holten worden weggedrongen (*fig.* 7). Hierdoor bewegen

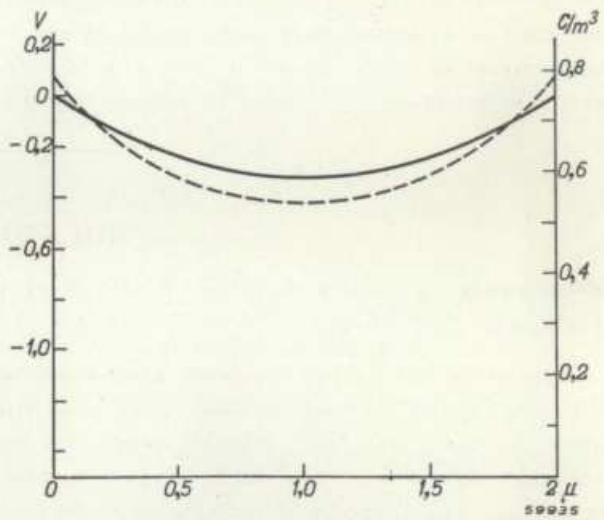


Fig. 7. Potentiaal V in volt (getrokken lijn) en ladingsdichtheid in coulomb/m³ (gestippeld) tussen twee emitterende platen op een afstand van 2 μ (T = 952 °K, $J_s = 3{,}8\cdot10^4$ A/m²).

de electronen hoofdzakelijk in een dunne laag langs de wand van de poriën, omdat een electron dat de wand verlaat, nu niet de holte oversteekt, maar aan de ruimtelading gereflecteerd wordt en de wand aan dezelfde zijde treft. De vrije weglengte wordt hierdoor sterk verminderd, zodat wij weer met het geval van formule (11) te maken hebben en de karakteristiek weer recht wordt. Daar bovendien de gemiddelde dichtheid in de genoemde laag kleiner is dan de grensdicht-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

heid, welke evenredig is met de verzadigingsstroom, volgt hieruit tevens dat met toenemende temperatuur de poriëngeleiding in dit temperatuurgebied minder sterk toeneemt dan in het temperatuurgebied waar de ruimtelading nog te verwaarlozen is en waar dus de geleiding gelijk opgaat met de emissie.

Ten einde na te gaan of de gegeven verklaring voor de gekromde J-V karakteristiek juist is, werd J als functie van V volgens formule (14) berekend voor een kathode die bij 1000 °K een emissie zou hebben van $8 \cdot 10^4$ A/m² bij $\varphi' = 1{,}1$ V. De electronendichtheid werd daarbij ontleend aan een eenvoudig geval (twee oneindige evenwijdige vlakke platen op kleine afstand van elkaar). Gevonden werd $J = 9{,}0 \cdot 10^3 \sqrt{V}$ A/m², resp. $J = 8{,}5 \cdot 10^3 \sqrt{V}$ A/m², voor een afstand van 2 μ resp. 5 μ. Dit zijn inderdaad stroomdichtheden van de orde als bij de experimenten werd gevonden.

Resumerend kan men dus zeggen dat in de poreuze oxydelaag de geleiding in het electronengas tussen de korrels van essentiële betekenis is. Zonder deze geleiding in de redenering te betrekken, is het ondoenlijk een bevredigende verklaring van alle experimenteel gevonden verschijnselen te geven. De geleiding in het electronengas en de electronengeleiding in de kristallen van de oxydelaag zijn te beschouwen als twee parallelle processen, die tezamen de geleiding van de laag als zodanig bepalen. Bij lage temperaturen overheerst de kristalgeleiding, bij hoge temperaturen de geleiding in het electronengas.

Een sterke steun vindt de theorie van de geleiding door het electronengas in het feit dat de gevonden verschijnselen niet alleen qualitatief voorspeld, maar ook quantitatief juist berekend konden worden. Interessant is nog dat in deze theorie als enige parameters de korrelgrootte, de porositeit en het emissievermogen voorkomen, grootheden die reeds van te voren gegeven waarden hadden, die uit de literatuur op dit gebied konden worden afgeleid.

Samenvatting. Er wordt een beschrijving gegeven van de methoden van praepareren en activeren van een oxydekathode, waarbij blijkt dat de oorspronkelijk aangebrachte carbonaatlaag aan een zodanig verhittingsproces moet worden onderworpen, dat een los gesinterde, poreuze oxydelaag ontstaat. De electronen die door de emissie de laag verlaten, moeten door geleiding door de oxydelaag heen worden aangevuld. Er wordt waarschijnlijk gemaakt dat de geleiding van de oxydelaag te danken is aan twee parallelgeschakelde mechanismen, de electronengeleiding in de korrels, overheersend bij lage temperatuur (< 800 °K), en die in het electronengas in de poriën tussen de korrels, overheersend bij hoge temperatuur (> 800 °K). Met behulp van de poriëngeleiding kan men ook inzien waarom de J-V karakteristiek voor hoge spanningen naar de V-as toe gebogen wordt. Dat de geleiding bij de hoogste temperaturen (>1000 °K) achterblijft bij de emissie, alsmede het feit dat in dit temperatuurgebied de kromming van de J-V karakteristiek weer verdwijnt, wordt verklaard, door de invloed van de ruimtelading op de dichtheid en op het veld in de poriën in aanmerking te nemen.

BOEKBESPREKING

Metaalkunde en constructie, door E. M. H. Lips, 258 blz., 171 figuren en 54 tabellen. — Philips Technische Bibliotheek — Meulenhoff & Co. N.V., Amsterdam 1948.

Wegens de bescheiden plaats die Nederland op het gebied der metaal producerende industrie inneemt heeft ons land relatief weinig tot de ontwikkeling van de metaalkunde en van de metaalbewerking bijgedragen. Metaalkundigen, die een hogere opleiding in hun vak hebben genoten, zijn er dan ook slechts enkelen in ons land. Zeer heugelijk is het, als één van die enkelen, wien het vak bovendien in het bloed zit, naar de pen grijpt om een rijke ervaring in wijdere kring bekend te maken, te meer als die ervaring tweezijdig is, namelijk enerzijds de laboratorium-ervaring van de doorknede metaalkundige, anderzijds de ervaring van iemand, die tot in het laatste stadium van een zeer gevarieerde productie een groot stuk verantwoordelijkheid draagt voor de metaalkeuze en voor de metaalbewerking en -verwerking. Aan de eerste ervaring beantwoorden de eerste vijf hoofdstukken: I. Mechanische eigenschappen van metalen en legeringen (31 blz.), II. De corrosieve aantasting van metalen en legeringen (5 blz.), III. Toestandsdiagrammen en hun betekenis voor de technische metalen en legeringen (16 blz.), IV. Legeringen van ijzer met koolstof en andere metalen (35 blz.), V. Niet-ijzer metalen en legeringen (77 blz.), die samen een goed overzicht geven van de kennis in engere zin der metalen. Zij behandelen wat de metalen als zodanig zijn, structureel en naar hun eigenschappen. Hierbij is in de hoofdstukken IV en V de beschrijving ook steeds gericht op de toepassing der betreffende metalen.

De metallurgie, de wijze waarop de metalen uit ertsen en andere grondstoffen worden bereid, is niet behandeld, omdat zij in eerste aanleg ook niet van belang is voor degenen, die in de metaal verwerkende industrie met de eigenlijke verwerking

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

belast zijn. Het mag in dit verband misschien bevreemden dat men begrippen als bijv. Siemens-Martin-staal en Thomas-staal niet tegenkomt. Maar zowel de practijk der metaal verwerkende fabrieken als de meest moderne ontwikkeling der genoemde staalsoorten, waarbij de verschillen meer en meer verdwijnen, wettigen deze weglating, voorzover geen zware plaat in bijzondere producten, als bijv. stoomketels, in het geding is. Voor dit alles is, vergeleken met wat bekende andere boeken bieden, het zeer belangrijke hoofdstuk VII, „Methoden van vormgeving" (29 blz.) in de plaats gekomen. In dit hoofdstuk zal weinig te vinden zijn, waarmede de schrijver zich in zijn persoonlijke fabriekservaring — dit is dan de bedoelde tweede ervaring — niet zeer intensief heeft bezig gehouden.

Hoofdstuk VI, „Technische warmtebehandelingen die een verandering van de mechanische eigenschappen beogen" (47 blz.), vormt de eigenlijke kern van het boek. Het sluit nl. geheel aan bij het voorafgaande typisch metallografische deel, in samenhang waarmee men de intrinsieke verandering der metalen (als in VI bedoeld) in den regel behandelt, en effent de weg voor de toepassing van wat in VII aan de orde is. De thermische behandeling, die in de practijk helaas maar al te vaak mishandeling is, mag men inderdaad wel beschouwen als de sleutel van het geheim, hoe het in I-V beschreven metaal het meest geschikt te maken voor die vormgeving volgens VII waarop men zijn keuze heeft laten vallen. Hoofdstuk VI mag gezien worden als neerslag van een gedurende vele jaren gevoerde succesvolle strijd om fabricage-moeilijkheden bij de vormgeving der metalen te overwinnen. Dit impliceert niet de pretentie van het brengen van nieuwe methoden, maar wel een stil getuigenis, dat het reeds een heel ding is om in een groot bedrijf de bekende methoden op de juiste wijze ingeschakeld te krijgen.

Het boek verloochent niet zijn herkomst uit de electrotechnische industrie. Molybdeen (zie bijv. fig. 15) en wolfraam zouden anders in een boek van deze omvang niet licht in de beschouwing opnomen zijn. Dat deze industrie in casu de Philips industrie is, spreekt ook wel uit de tekst: van het chroomijzer met 25 % chroom bijv., dat zo'n belangrijke rol speelt in de Eindhovense techniek der vacuumbuizen, zijn in fig. 59 en 60 interessante gegevens over de brosheid gegeven. Dit alles moge het boekje niet in een zeker electrotechnisch isolement plaatsen, maar het veeleer als levende stof in handen brengen van de zeer velen, die in de Nederlandse industrie verantwoordelijk of medeverantwoordelijk zijn voor de constructie en de vormgeving van het metalen product en aan een goede inleiding nog de behoefte hebben.

P. Clausing.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voorzover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Laboratorium voor Wetenschappelijk Onderzoek, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

1845: E. J. W. Verwey, F. de Boer en J. H. van Santen: Cation arrangement in spinels (J. chem. Phys. **16**, 1091-1092, 1948, No. 12).

Er wordt een nieuwe berekening gegeven van de Madelung-constante van het spinelrooster, zowel volgens de methode van Evjen als volgens die van Ewald. De overeenstemming tussen beide berekeningen is zeer bevredigend. De gegeven tabel komt in de plaats van vroeger gepubliceerde waarden, waarin een rekenfout was geslopen.

1845a*: G. W. Rathenau: Correspondence on Bowles and Boas's Paper (J. S. Bowles and W. Boas, J. Inst. Metals **74**, 753-755, 1948).

Discussie-opmerkingen van Dr. G. W. Rathenau naar aanleiding van bovengenoemde voordracht. Voor volledige details wordt de lezer verwezen naar een publicatie van G. W. Rathenau en J. H. F. Custers in Philips Res. Rep. **4**, 241-260, 1949, No. 4.

1846*: P. Cornelius: Het gerationaliseerde Giorgi-stelsel in de electriciteitsleer (T. Ned. Radiog. **14**, 1-19, 1949, No. 1).

Overzicht van het gerationaliseerde Giorgi-stelsel van electrische eenheden en van de schrijfwijze van enkele bekende formules uit de electriciteitsleer bij gebruik van deze eenheden (zie ook deze overzichten No. **1803***, **R 103**, **R 111** en Philips techn. T. **10**, 79-86, 1948).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

1847: F. A. Kröger en J. E. Hellingman: Chemical proof of the presence of chlorine in blue fluorescent zinc sulphide (J. Electrochem. Soc. **95**, 68-69, 1949, No. 2).

Volgens de schrijvers bevatten de blauw fluorescerende fosforen chloor, dat er in is gebracht met het vloeimiddel (bijv. NaCl) of op andere wijze (bijv. door praepareren in H_2S + HCl). Een chemische bepaling van het in ZnS-fosforen aanwezige chloor (2 tot $27 \cdot 10^{-5}$ gr atoom/mol ZnS) bevestigt deze opvatting. Het gehalte aan chooratomen stemt behoorlijk overeen met schattingen van het aantal centra. Met toenemend chloorgehalte neemt de blauwe luminescentie toe.

1848: J. A. Haringx: The cross-spring pivot as a constructional element (Appl. sci. Res. **A1**, 313-322, 1949, No. 3).

Bespreking van het gedrag van het kruisveerscharnier, een flexibel element, dat twee delen van een constructie verbindt en dat bestaat uit twee bladveren die elkaar bijv. onder een hoek van 90° kruisen. Het draaipunt ligt in de eerste benadering op de snijlijn van de twee veervlakken. Op grond van een elementaire berekening wordt gevonden dat de stijfheid van het scharnier in hoge mate afhangt van de grootte en de richting der over te brengen kracht. Een nauwkeurige berekening verschaft gegevens over de verschuiving van het draaipunt bij grote doorbuigingshoeken, echter alleen voor het geval dat het scharnier met een zuiver koppel belast is.

1849: J. D. Fast: Gasvormende stoffen in de bekledingen van lasstaven (Lastechniek **15**, 189-192, 1949, No. 3).

Tijdens het lassen komen uit de bekleding van de lasstaaf CO, CO_2, H_2 en H_2O vrij. De voornaamste taak van deze gassen bestaat in het met grote snelheid uitdrijven van het metaal en in het mogelijk maken van „inbranden". Echter zijn aan het vrijkomen van gassen ook gevaren verbonden, daar zij bijv. porositeit, scheuren en brosheid kunnen veroorzaken.

R 102: D. S. Saxon en R. A. Hutner: Some electronic properties of a one-dimensional crystal model (Philips Res. Rep. **4**, 81-122, 1949, No. 2).

De eendimensionale Schrödinger-vergelijking met randvoorwaarden volgens Kronig en Penney (eendimensionaal model van een metaalkristal) wordt onderzocht

1) met behulp van een functie van Green,
2) door het probleem op te vatten als verstrooiing van electronengolven.

Energieniveaus en eigenfuncties worden berekend voor een eenatomig en een twee-atomig rooster. Met behulp van de tweede methode wordt de invloed van een vreemd atoom, zowel op een roosterplaats als interstitieel, onderzocht, alsmede de koppeling tussen dergelijke roosterstoringen. Ten slotte wordt het geval van een vaste oplossing besproken.

R 103: P. Cornelius en H. C. Hamaker: The rationalized Giorgi-system and its consequences (Philips Res. Rep. **4**, 123-142, 1949, No. 2).

Het gerationaliseerde Giorgi-systeem (mks systeem) van electromagnetische eenheden wordt geintroduceerd door uit te gaan van het veldbegrip voor een homogeen veld. Gewezen wordt op de opvallende analogie tussen het stroomveld in een geleider, het veld van een vlakke condensator en het magneetveld in een lange spoel. Polarisatie, susceptibiliteit enz. worden op eenvoudige wijze gedefinieerd. Betoogd wordt dat discussies over dimensies, „Grössengleichungen", fundamentele en afgeleide eenheden enz. in het algemeen van weinig belang zijn. Zie ook deze overzichten No. **1803**.

R 104: K. F. Niessen: Anomalous skin impedance as a function of the field strength (Philips Res. Rep. **4**, 143-153, 1949, No. 2).

Het huideffect, dat optreedt bij een goede geleider, geplaatst in een hoogfrequent electromagnetisch veld, wordt bestudeerd aan de hand van het model van Pippard (electronen die het oppervlak in loodrechte richting naderen respectievelijk verlaten). Op eenvoudige wijze wordt de kromming der electronenbanen in rekening gebracht. Hieruit volgt een vermoedelijke invloed van de veldsterkte op de anomale huidweerstand, namelijk een afneming van de weerstand en een toeneming van de reactantie bij toenemende amplitude van het electrische veld nabij het oppervlak.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!